

**COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES
DE CONTAMINACIÓN.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE
ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN.**

**AUTOR:
RODNEY PATRICIO PORTERO CALDERÓN**

**DIRECTOR:
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, Diciembre 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios quien nunca dejo de bendecirme durante este largo proceso de estudio, con mucho cariño a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en el transcurso de mi vida brindándome su apoyo en todo momento. A mi hermana quien vivió de cerca todo el proceso para obtener este magnífico logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme su guía y sus bendiciones durante toda mi vida, a mis padres que siempre creyeron en mí y me dieron todo el apoyo necesario para culminar mis estudios universitarios, principalmente a mi madre. Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, que me abrió las puertas para forjarme como profesional, a mis amigos con los que transcurrí toda mi vida universitaria. Agradezco a CELEC EP – TRANSELECTRIC, por darme la oportunidad y apertura para desarrollar la presente investigación. Un agradecimiento especial para los Ingenieros Cristhian Pazmiño, Luis Dutan, Paúl Almeida, Santiago Proaño, Fredy Coyago, Ricardo Andrade, Marlon Chicaiza, José Arias, Martin Montesdeoca, quienes con sus conocimientos fueron una fuente de enseñanza para desarrollar y culminar el presente trabajo de titulación, a todo el departamento de Diseño de Líneas de Transmisión que me instruyeron y brindaron su apoyo. Un agradecimiento especial para el Ingeniero Luis Ruales, quien dio seguimiento a mi trabajo de titulación desde sus orígenes hasta su presentación. Agradezco al Ingeniero Diego Carrión, quien es el director del presente artículo, por la apertura para dirigir el trabajo desarrollado.

Rodney Patricio Portero Calderón

COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN.

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Rodney Patricio Portero Calderón (Y'1994-F'13). Realizó sus estudios secundarios en el colegio Particular Brasil, se graduó de Bachiller Físico Matemático. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo de investigación se basa en realizar un algoritmo que permita encontrar la cantidad óptima de aisladores en líneas de transmisión de alto voltaje, considerando los diferentes niveles de contaminación que recaen en las líneas de transmisión en el Ecuador.

rporteroc@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981-M'12). Se graduó como Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en el año 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de doctor en ingeniería de la Universidad Politécnica Bolivariana – Medellín, Colombia. Es profesor e investigador de la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – Smart Grid Research Group).

dcarrion@est.ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS ©2019
Universidad Politécnica Salesiana

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación denominado “COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN” realizado por RODNEY PATRICIO PORTERO CALDERÓN, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Diciembre 2019



.....

DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA

Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, RODNEY PATRICIO PORTERO CALDERÓN, con documento de identificación N° 1718166265, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....
Nombre: RODNEY PATRICIO PORTERO CALDERÓN

Cédula: 1718166265

Fecha: Diciembre 2019

1. ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	2
2. Contaminación en Líneas de Transmisión.	3
2.1 Tipos de Contaminantes.....	4
2.2 Acumulación de contaminantes en la superficie del aislador.	5
2.3 Proceso de contaminación de aisladores y formación del Critical Flash Overvoltage	5
2.4 Pruebas de contaminación en aisladores.....	7
2.5 Niveles de Contaminación	8
3. Coordinación de aislamiento en líneas de transmisión	9
3.1 Sobre voltajes por contaminación.	9
3.2 Coordinación de aislamiento con restricción de contaminación.....	9
3.3 Critical Flash Overvoltage	10
4. Metodología desarrollada para el aislamiento de las líneas de transmisión del Sistema Nacional de Transmisión.	10
4.1 Algoritmo para el análisis de coordinación de aislamiento con restricción de contaminación.....	11
4.2 Línea de Transmisión Tanicuchi - Totoras a 138 kV.	12
4.3 Línea de Transmisión Concordia – Pedernales a 138 kV (aislada 230 kV)	13
4.4 Línea de Transmisión Santa Rosa – Pomasqui II a 230 Kv.....	13
4.5 Línea de Transmisión Chongón – Santa Elena a 230 Kv.	14
4.6 Línea de Transmisión San Rafael – El Inga a 500 kV.....	14
4.7 Línea de Transmisión Tisaleo – Chorrillos a 500 kV.	15
5. Resultados	16
5.1 Líneas de Transmisión 138 kV.	16
5.2 Líneas de Transmisión 230 kV.	19
5.3 Líneas de Transmisión a 500 kV.	21
Conclusiones	24
Referencias.....	25

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Temática de la Investigación	3
Figura 2. Aislador	5
Figura 3.Contaminación depositada.	6
Figura 4.Efecto de lluvia sobre aislador.....	6
Figura 5.Circulación de corrientes de fuga, debido a la formación de bandas secas por humedad.	6
Figura 6.Formación de pequeños arcos en el aislador.	6
Figura 7.Formación del CFO en el aislador.....	6
Figura 8.Forma de onda de sobre voltaje temporal	9
Figura 9.Zonas geográficas del Ecuador.....	11
Figura 10.Simulación de línea de transmisión Tanicuchi - Totoras en el software PLS – CAD. .	12
Figura 11.Simulación de línea de transmisión Tanicuchi - Totoras en el software PLS – CAD. .	12
Figura 12.Simulación de línea de transmisión Concordia - Pedernales en el software PLS – CAD.	13
Figura 13.Simulación de línea de transmisión Concordia - Pedernales en el software PLS – CAD.	13
Figura 14.Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.....	14
Figura 15.Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.....	14
Figura 16.Simulación de línea de transmisión Chongón - Santa Elena en el software PLS – CAD.....	14
Figura 17.Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.....	14
Figura 18.Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.	15
Figura 19.Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.	15
Figura 20.Simulación de línea de transmisión Tisaleo - Chorrillos en el software PLS – CAD..	16
Figura 21.Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.	16
Figura 22.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.	16
Figura 23.Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.	16
Figura 24.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.	17
Figura 25.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.	17
Figura 26. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.	17

Figura 27.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.	17
Figura 28.CFO según IEC en línea de transmisión Concordia – Pedernales.	18
Figura 29.CFO según IEEE en línea de transmisión Concordia – Pedernales	18
Figura 30.CFO según EPRI en línea de transmisión Concordia – Pedernales.	18
Figura 31.CFO según IEC en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.	18
Figura 32.CFO según IEEE en línea de transmisión Tanicuchi - Totoras.....	18
Figura 33.CFO según EPRI en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.	19
Figura 34.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	19
Figura 35.Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	19
Figura 36.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	19
Figura 37.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	19
Figura 38.Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	20
Figura 39.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	20
Figura 40.CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	20
Figura 41.CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	21
Figura 42.CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.	21
Figura 43.CFO según IEC en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	21
Figura 44.CFO según IEEE en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	21
Figura 45.CFO según EPRI en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.	21
Figura 46.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	22
Figura 47.Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	22
Figura 48.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	22
Figura 49.Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	22
Figura 50.Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	22
Figura 51.Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	22
Figura 52.CFO según IEC en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	23
Figura 53.CFO según IEEE en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	23
Figura 54.CFO según EPRI en línea de transmisión San Rafael – El Inga.	23
Figura 55.CFO según IEC en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	24
Figura 56.CFO según IEEE en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	24
Figura 57.CFO según EPRI en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.	24

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancias de fuga por contaminación según norma IEC.....	8
Tabla 2. Sobre voltajes temporales.	9
Tabla 3. Niveles de contaminación en mg/ [cm] ^2	10
Tabla 4. Nivel isoceraunico y temperatura ambiente en zona 1 y zona 2.....	11
Tabla 5. Características generales de la línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.....	12
Tabla 6. Características generales de la línea de transmisión Concordia – Pedernales.....	13
Tabla 7. Características generales de la línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.....	13
Tabla 8. Características generales de la línea de transmisión Chongón – Santa Elena	14
Tabla 9. Características generales de la línea de transmisión San Rafael – El Inga.....	15
Tabla 10. Características generales de la línea de transmisión San Rafael – El Inga.....	15
Tabla 11. Número de aisladores en línea de transmisión Concordia – Pedernales por Transelectric.	17
Tabla 12. Número de aisladores en línea de transmisión Tanicuchi - Totoras por Transelectric...	17
Tabla 13. Número de aisladores en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II por Transelectric.	20
Tabla 14. Número de aisladores en línea de transmisión Chongón – Santa Elena por Transelectric.	20
Tabla 15. Número de aisladores en línea de transmisión San Rafael – El Inga por Transelectric.	23
Tabla 16. Número de aisladores en línea de transmisión Tisaleo - Chorrillos por Transelectric...	23

COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN.

Resumen

En los sistemas eléctricos de potencia una de las tareas más importantes es la transmisión de energía, actividad que se realiza por medio de conductores eléctricos, elementos que forman parte de las líneas de transmisión. Las desconexiones en las líneas de transmisión se pueden producir por varios motivos, uno de ellos son los sobre voltajes a frecuencia industrial que pueden originarse por la existencia de contaminación en la línea de transmisión, ante esto se realiza lo que conocemos como coordinación de aislamiento, actividad que se encarga de seleccionar una resistencia de aislamiento que este en la capacidad de evitar desconexiones.

Por lo expuesto, el presente artículo tiene como finalidad dar solución al problema de coordinación de aislamiento que a través de su solución permite optimizar la cantidad de aisladores que deben ser instalados en las diferentes líneas de transmisión. Además, se determinará el valor del Critical Flash Overvoltage, que representa los kilovoltios producidos por el sobre voltaje a frecuencia industrial, con el fin de realizar un análisis de su efecto respecto al medio ambiente y a la contaminación en aisladores. De esta manera se analizaron los resultados obtenidos respecto a lo existente en el sistema de transmisión del Ecuador considerando diferentes tipos de ambiente, niveles de contaminación y niveles de voltaje.

Palabras Clave: Coordinación de aislamiento, sobre voltajes, frecuencia industrial, contaminación, Critical Flash Overvoltage.

Abstract

In electrical power systems, one of the most important tasks is the transmission of energy, an activity that is carried out through transmission lines, elements that must maintain high reliability, so it is important to have a design that is in The ability to withstand any type of disconnection. The disconnections in the transmission lines can occur for several reasons; one of them is the overvoltages at industrial frequency that can be caused by the existence of contamination in the transmission line, before this is done what we know as insulation coordination, activity that is responsible for selecting an insulation resistance that is capable of preventing disconnections.

Therefore, the purpose of this article is to solve the problem of insulation coordination that, through its solution, optimizes the number of insulators that must be installed in the different transmission lines. In addition, the value of the Critical Flash Overvoltage, which represents the kilovolts produced by the overvoltage at industrial frequency, will be determined in order to perform an analysis of its effect with respect to the environment and contamination in insulators. In this way, the results obtained with respect to what exists in the transmission system of Ecuador will be analyzed considering different types of environment pollution levels and high and extra high voltage levels.

Keywords: Isolation coordination, over voltages, industrial frequency, pollution, Critical Flash Overvoltage.

1. Introducción

Las líneas de transmisión son los medios por los cuales la energía eléctrica se transporta desde la fuente de generación hasta los lugares de uso. Las distancias involucradas pueden ser muy largas y atraviesan una variedad de entornos. Las líneas de transmisión deben estar en la capacidad de operar de manera confiable en todas las condiciones ambientales que experimentan y deben tener el menor impacto en estos entornos. Es importante incrementar la confiabilidad de las líneas de transmisión ya que, al formar parte del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), deben garantizar la transmisión de energía eléctrica, de esta manera contribuir con el abastecimiento de la demanda. El Sistema Nacional de Transmisión del Ecuador, fue implementado en el año de 1979, manejando tres diferentes niveles de voltaje 138 kV, 230 kV y 500 kV, los mismos que serán implementados en las diferentes líneas de transmisión aéreas ubicadas dentro de nuestro país. De manera general, la línea de transmisión aérea es denominada como un conjunto de conductores montados a cierta altura sobre un terreno, estos conductores están en la capacidad de transmitir energía eléctrica.[1]–[5]

La coordinación de aislamiento es la selección de la resistencia dieléctrica en relación con los voltajes que pueden aparecer en el sistema, teniendo en cuenta el entorno de servicio y las características de los dispositivos de protección disponibles. Para el aislamiento es importante comprender la diferencia entre los voltajes causados por el sistema, y los causados por los sobre voltajes. Los sobre voltajes son poco frecuentes y tienen una duración limitada, a pesar de eso pueden afectar el aislamiento y provocar una falla en un equipo o instalación eléctrica. La coordinación de aislamiento en líneas de transmisión se la realiza con el fin de que las mismas estén en capacidad de soportar las diferentes formas de sobre voltajes, buscando evitar además que exista el contacto entre

conductores y estructuras de soporte. Para la coordinación de aislamiento de las líneas de transmisión, se debe especificar todas las características de las torres que afectan a la confiabilidad de la línea de transmisión [6]. En el estudio de coordinación de aislamiento en líneas de transmisión se deben considerar los eventos que puedan ocasionar sobre voltajes, mismos que están a frecuencia nominal de transmisión, sobre voltajes de maniobra, sobre voltajes de origen atmosférico, sobre voltajes por la existencia de contaminación. Tomando en cuenta que los sobre voltajes de origen atmosférico y contaminación presentan las condiciones más críticas a la hora de realizar la coordinación de aislamiento [7].

En [8]–[11] muestran que el efecto de contaminación es un factor que altera el funcionamiento de la línea de transmisión, basándose en verificar de qué manera se verán afectados los aisladores respecto a la zona en la que están ubicados, relacionando la forma y el tipo de contaminante existente, considerando aspectos importantes como la acumulación de contaminantes en las superficies aislantes, humedecimiento del aislante, desarrollo del efecto Critical Flash Overvoltage (CFO) , conjuntamente con su método de cálculo para cadenas de aisladores en líneas de transmisión de alto voltaje. Por medio de pruebas considerando distintos tipos y grados de contaminación se puede determinar la distancia de fuga que tendrá cada zona por su nivel de contaminación. Los valores arrojados por las pruebas varían de acuerdo a la zona en donde se encuentra ubicada la línea de transmisión. En [8], [9], [12], [13], se definen los niveles y valores de contaminación, para coordinación de aislamiento como para el cálculo del Critical Flash Overvoltage (CFO), considerando diferentes tipos de zonas y condiciones ambientales. Por lo que queda claro que existe una relación entre el efecto Critical Flash Overvoltage (CFO) y el grado de contaminación de los aisladores, ya que la existencia de un Critical Flash Overvoltage (CFO) se dará por la pérdida del dieléctrico en

la cadena de aisladores provocando un arco eléctrico.

Para implementar la coordinación de aislamiento en líneas de transmisión basado en efectos de contaminación, se debe considerar las condiciones ambientales que cambian de acuerdo a la zona en la que está ubicada la línea de transmisión, así como el diseño de la línea de transmisión, que se encargara de definir la zona de acuerdo a los metros sobre el nivel del mar [14], [15]. Según [16]–[20] proponen que de acuerdo al nivel de contaminación considerando la altura sobre el nivel del mar y el voltaje de línea, la cantidad de aisladores a ser instalada será distinta, considerando cantidades constates de aisladores a lo largo de la línea de transmisión.

La coordinación de aislamiento en líneas de transmisión considerando restricciones de contaminación, se resuelve por medio de un modelo matemático que relaciona variables eléctricas como el voltaje máximo de línea a tierra y la distancia de fuga de los tipos de aisladores a utilizar, y variables ambientales como la densidad relativa del aire y la distancia de fuga por contaminación de acuerdo a la ubicación de la línea de transmisión. En [21] se analiza un modelo matemático que relaciona las distancias de fuga por contaminación y por cada aislador, conjuntamente con el voltaje nominal de la línea de transmisión, de manera que se pretende cubrir en forma general la contaminación de la línea de transmisión de acuerdo a su ubicación. A diferencia que en [22]–[25] se propone un modelo matemático que además de relacionar las distancias de fuga, determina el voltaje máximo de línea a tierra y la densidad relativa del aire considerando la presión barométrica, que involucra la altura sobre el nivel del mar de la línea de transmisión.

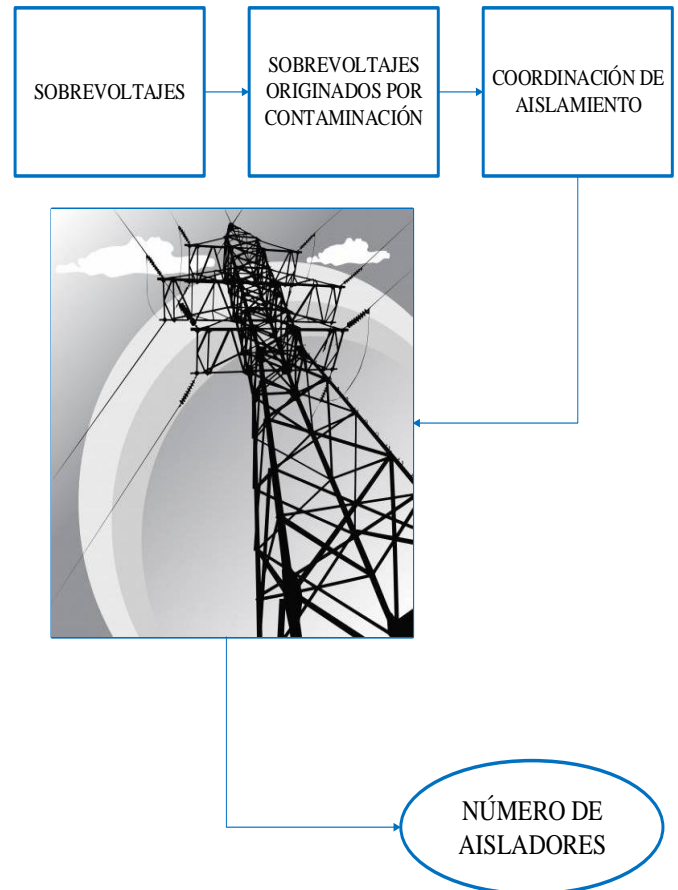


Figura 1. Temática de la Investigación.

2. Contaminación en Líneas de Transmisión.

La existencia del efecto Critical Flash Over voltage en los sistemas de transmisión se ha dado por la contaminación del aire que se aloja en los aisladores. Estos contaminantes provienen de fuentes naturales como el mar o el desierto, o pueden ser generados por actividades industriales, agrícolas o de construcción. Uno de los contaminantes más comunes es la sal del mar, que puede causar graves problemas en las líneas de transmisión en las zonas costeras. En zonas industriales o agrícolas, sustancias como el yeso, el ácido sulfúrico, las cenizas volantes y el cemento, pueden estar presentes como contaminación en los aisladores. Este tipo de sustancias no disminuyen la resistencia del aislamiento cuando están secos, en el caso de que exista humedad se pueden convertir en una amenaza. Existen casos en los que la

contaminación viene dada en una presentación disuelta por lo que se depositan en la capa conductora del aislante, como también puede suceder cuando los aisladores están expuestos a una niebla de agua salada. La formación de una capa conductora en un aislante energizado conduce al flujo de la corriente de fuga, provocando la distribución del voltaje a lo largo del aislador de manera no uniforme, es decir con la mayor parte de voltaje concentrada sobre las bandas secas, provocando de esta manera la creación de un arco pequeño en serie con la resistencia a la capa conductora del aislante, el crecimiento de este arco dependerá de la conductividad de la capa [8].

2.1 Tipos de Contaminantes

Los tipos de contaminantes que afectan a las líneas de transmisión en el Ecuador serán definidos por el lugar y la actividad que los precede, definiendo así los siguientes contaminantes [8]–[10]:

- **Sal:** En áreas y lugares que contengan agua salada, particularmente carreteras elevadas, donde la sal es capaz de derretir la nieve o el hielo, se pueden producir importantes depósitos de sal como resultado del rocío del viento.
- **Cemento – Cal:** En áreas y lugares ubicados cerca de plantas de cemento, sitios de construcción y canteras de roca pueden acumular depósitos de cemento o cal. Estos materiales pueden formar una costra gruesa, que se adhiere firmemente a la superficie aislador. Puede ser necesario un agente químico para eliminar las capas de cemento.
- **Polvos:** Los tipos de polvo que se pueden depositar en los aisladores provienen de una amplia variedad de fuentes. Algunos de los tipos de polvo que afectan al rendimiento del aislante son polvo de tierra, fertilizante, polvo metálico, polvo de

carbón, polvo de corrales de alimentación, y cenizas volcánicas.

- **Tierra:** El polvo de la tierra puede surgir de campos arados, movimientos de tierra en proyectos de construcción, etc.
- **Fertilizante:** El polvo de fertilizante se emite de las plantas de fertilizantes y de la aplicación de fertilizantes en la agricultura. Se sabe que el polvo de fertilizante crea una capa gruesa que el lavado a alta presión no puede eliminar.
- **Metálico:** El polvo metálico proviene de varios procesos del manejo de minerales.
- **Ceniza Volcánica:** La actividad volcánica puede emitir grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera en un período corto. Las capas gruesas de ceniza volcánica se acumulan en los aisladores expuestos durante y poco después de los períodos de actividad volcánica.
- **Excremento de Ave:** Los aisladores ubicados en las proximidades de perchas de aves están sujetos a contaminación por excremento. Estos depósitos generalmente son lavables y con frecuencia se limpian con fuertes lluvias, pero pueden presentar serios problemas de confiabilidad del sistema, en caso de que no exista una oportuna limpieza.
- **Químico:** Los contaminantes provocados por los procesos químicos industriales, como por ejemplo la fumigación aérea de productos químicos agrícolas y los productos químicos para combatir incendios tienden a depositarse en los aisladores.

- **Smog:** En las zonas urbanas, las emisiones de automóviles introducen una cantidad significativa de partículas en el medio ambiente. Además, las emisiones de los motores diésel de los trenes afectan particularmente las áreas adyacentes a los derechos de paso. Normalmente, los productos químicos industriales están presentes en áreas con grandes problemas de smog.
- **Orgánico:** La contaminación orgánica consiste en organismos vivos o muertos, o subproductos producidos por ellos, como por ejemplo el moho, las algas, musgos, etc.

2.2 Acumulación de contaminantes en la superficie del aislador.

El nivel y la distribución de la contaminación en el aislador son el resultado de una interacción compleja entre el aislante y el ambiente. Este proceso se da por el perfil, las propiedades de superficie y la orientación en la que se instala el aislador, las formas de los aisladores que tienen grandes superficies están en desventaja, ya que estas superficies presentan grandes áreas donde los contaminantes pueden ubicarse. Los perfiles aerodinámicos abiertos son beneficiosos ya que generalmente acumulan menos contaminación y son accesibles para la limpieza [8]–[10].

Las propiedades de la superficie de un aislador vienen dadas por:

- Las superficies lisas acumulan menos contaminación que las rugosas.
- Las superficies secas retienen menos contaminación que las húmedas.
- Los aisladores de caucho – silicona, recolectan más contaminantes que las superficies de vidrio o cerámica. Este tipo de aisladores tienen la característica de tener hidrofobicidad en la superficie lo que permite que las

gotas de agua contaminada se depositen en la superficie, y de esta manera se separen los puntos de contaminación cuando el agua se evapora. La contaminación sólida es más compacta ya que no se evapora por la existencia de agua.

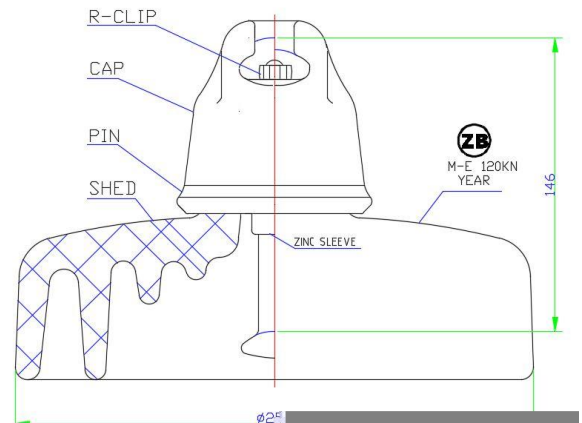


Figura 2. Aislador.

2.3 Proceso de contaminación de aisladores y formación del Critical Flash Overvoltage

En las figuras 2 al 6, se describe como la combinación entre los contaminantes y el ambiente interactúan y se depositan en un aislador, lo que provoca la existencia de un sobre voltaje por contaminación, o un Critical Flash Overvoltage, mismo que se define como un voltaje crítico de valor cresta de un impulso de rayo estándar, para el cual el aislamiento presenta un 50% de probabilidad de resistencia, es comúnmente utilizado en los estudios de coordinación de aislamiento para describir la resistencia al impulso de los aisladores de alto voltaje [8], [11].

En el momento en que la contaminación por medio del aire se deposita en el aislador, la superficie está completamente seca, por lo que la distribución de voltaje en la cadena puede considerarse como la misma que en una cadena de aislante limpia y seca. Debido a la existencia de lluvias la humectación crece, por lo que la resistencia del aislante se

vuelve más grande, y será relacionada por el efecto de secado, creado por la corriente de fuga y descargas de efecto corona. La temperatura de los discos en zona seca es mucho mayor que la de los aisladores en la sección restante de la cuerda, la corriente de fuga en zona de humectación es de aproximadamente 100 - 600 mA. A medida en que las zonas secas aumentan su condición de secado y la zona húmeda aumenta su zona de humectación, incrementa la tensión en las zonas secas. Finalmente, las unidades en la sección inferior ya no pueden soportar la tensión de voltaje, y se inflaman, esto se observa cuando un arco une varias unidades en la parte inferior de la cuerda. Los arcos que unen la sección inferior dan como resultado un sobre voltaje sobre el resto de la cadena. Esta actividad aparece como aumentos de corriente de fuga, que suelen tener valores pico que van desde 500 a 700 mA. Las corrientes de fuga secan las superficies del aislador en la zona húmeda, linealizando la distribución de voltaje a lo largo de toda la cadena y reduciendo la caída de voltaje en la zona seca inicial. Una vez que la actividad ha cesado, los valores de impedancia de la superficie serán más bajos. Este proceso se repite hasta que se desarrolle un Critical Flash Overvoltage o hasta que la intensidad de la oleada desaparezca gradualmente a medida que los contaminantes se extraen de la superficie del aislador [8], [11].

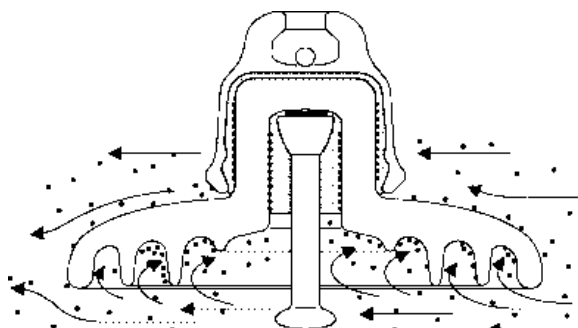


Figura 3. Contaminación depositada.

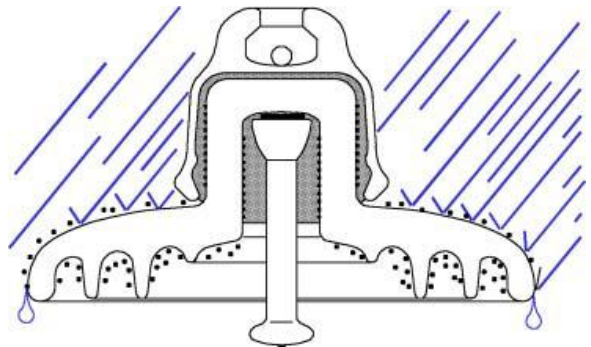


Figura 4. Efecto de lluvia sobre aislador contaminado.

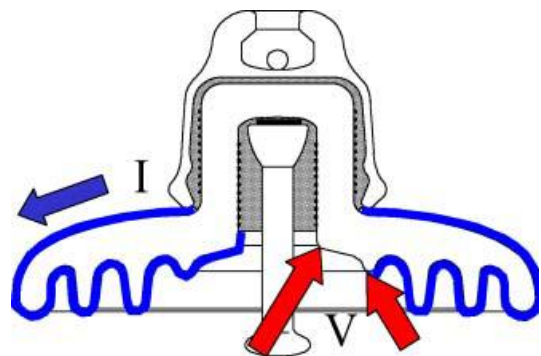


Figura 5. Circulación de corrientes de fuga, debido a la formación de bandas secas por humedad.

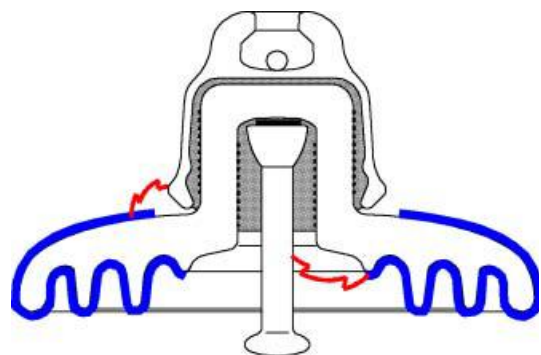


Figura 6. Formación de pequeños arcos en el aislador.

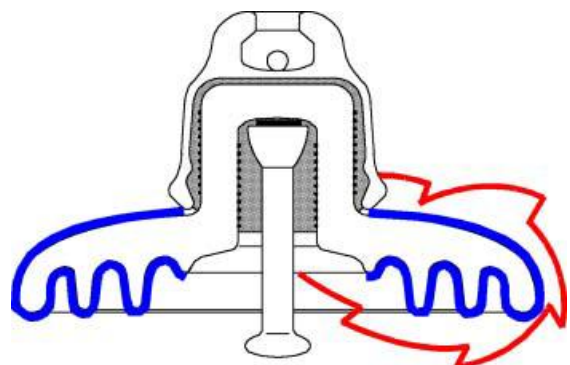


Figura 7. Formación del CFO en el aislador.

2.4 Pruebas de contaminación en aisladores.

Pruebas de contaminación

El objetivo de realizar pruebas de Flash Overvoltage de contaminación, es obtener una estimación confiable y rápida de la contaminación. Esta información se puede utilizar para dimensionar aisladores con respecto a las condiciones de contaminación reales en el lugar de instalación propuesto. Las pruebas de voltaje variable, o las pruebas de Flash Overvoltage rápido, se han diseñado, para obtener información estadística (por ejemplo, 50% de voltaje de Flash Overvoltage y desviación estándar) en la característica de Flash Overvoltage del aislador a un nivel de seguridad de contaminación específico [11].

Métodos de prueba de contaminación

Antes de la estandarización había una gran cantidad de diferentes métodos de prueba de contaminación, que se los puede agrupar de la siguiente manera:

1. Prueba de niebla salina
2. Pruebas de capa sólida
3. Pruebas de contaminantes húmedos
4. Prueba de niebla limpia.

Existen diferencias significativas entre estos métodos de prueba, ya que cada uno simula un aspecto diferente que puede ocurrir en el aislamiento.

La prueba de niebla salina

En este método, el aislador se energiza a voltaje de servicio, que se mantiene constante durante la prueba, y se somete a una niebla salina. La salinidad y niebla, expresada en kilogramos de sal por metro cúbico de la solución, define la gravedad de la condición de contaminación. Los valores de salinidad utilizados se eligen entre valores que aumentan en una progresión geométrica, generalmente de 2.5 a 224 kg / m^3 . En una variación de la prueba de

niebla salina, denominada método de Flash Overvoltage rápido, se aplica un voltaje variable para obtener información estadística sobre Flash Overvoltage a una salinidad determinada. Después de un período de estabilización inicial, el voltaje se eleva de forma gradual hasta el Flash Overvoltage. El proceso se repite con un voltaje de arranque que es el 90% del Flash Overvoltage anterior. Cada paso comprende un aumento en el voltaje entre 2.5 y 3.5% y una duración de 5 min [8], [11].

Pruebas de capa sólida

Consiste en Humedecer la cadena de aisladores antes y después de la energización. En ambos métodos, los aisladores están contaminados por pulverización o flujo que recubren la mezcla contaminante que comprende una mezcla de agua salada y un material inerte [8], [11].

Pruebas de Contaminantes Húmedos

En esta prueba, el aislador se coloca en su posición de prueba y se inicia la generación de niebla. Durante este tiempo, las mediciones de conductancia de la superficie se realizan a intervalos regulares, y la tensión de prueba se aplica cuando las mediciones indican que la conductancia de la superficie ha alcanzado su valor máximo [8], [11].

Prueba de niebla limpia

La prueba de niebla limpia se considera como una aproximación de las condiciones del interior donde la condensación es el principal mecanismo de humedecimiento. La generación de vapor de niebla se inicia, y la prueba finaliza en Flash Overvoltage o si el aislante resiste el voltaje y la niebla durante 100 min. Nuevamente, este procedimiento se repite un máximo de cuatro veces, y el aislador ha pasado la prueba si no se ha disparado más de una vez. La humectación de los aisladores se establece mediante una niebla de vapor de una densidad de niebla específica. La gravedad de esta prueba se expresa normalmente en la densidad del depósito de

sal de la contaminación en el aislante [8], [11].

2.5 Niveles de Contaminación

Los niveles de contaminación serán definidos por su gravedad de afectación y de acuerdo al lugar de donde son provenientes, esto relacionándolo por medio de una distancia de fuga por contaminación que se define como la distancia medida a lo largo del contorno externo de la envolvente aislante, que separa la parte metálica conductora de alto voltaje y la brida metálica de acoplamiento a la tapa. La distancia de fuga por contaminación vendrá dada en mm/kV, gracias a la intervención de varios institutos normativos en el estudio de la contaminación en líneas de transmisión, se han podido estandarizar los valores requeridos por contaminación. Según los estudios desarrollados respecto a la contaminación en líneas de transmisión de alto voltaje, las normas IEC, IEEE, y el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), han definido a los niveles de contaminación de la siguiente manera [8], [9], [12], [13].:

Ligera:

- Áreas y lugares sin industrias y con baja densidad de viviendas.
- Áreas y lugares con baja densidad de industrias o casas, pero sometidas a vientos frecuentes y / o lluvias.
- Áreas y lugares agrícolas
- Áreas y lugares montañosos
- Todas estas áreas y lugares estarán situadas al menos a 10 km a 20 km del mar y no estarán expuestas a los vientos directamente del mar.

Media:

- Áreas y lugares con industrias que no producen humo particularmente contaminante y / o con densidad promedio de casas.

- Áreas y lugares con alta densidad de casas y / o industrias, pero sometidas a vientos y / o lluvias frecuentes.
- Áreas y lugares expuestas al viento del mar, pero no demasiado cerca de las costas.

Fuerte:

- Áreas y lugares con alta densidad de industrias, suburbios de grandes ciudades con alta densidad de plantas de calefacción que producen contaminación.
- Áreas y lugares cercanos al mar o, expuestas a vientos relativamente fuertes del mar.

Muy Fuerte:

- Áreas y lugares generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y al humo industrial que produce depósitos conductores particularmente gruesos.
- Áreas y lugares muy cercanos a la costa y expuestas a la pulverización marina o a vientos muy fuertes y contaminantes del mar.
- Áreas y lugares desérticos, caracterizadas por no llover durante largos períodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.

Tabla 1: Distancias de fuga por contaminación según normativas.

Nivel de contaminación	Distancia mínima de fuga específica [mm / kV]		
	IEC	IEEE	EPRI
Ligera	16	27.7	28
Media	20	34.6	35
Fuerte	25	43.3	44
Muy fuerte	31	53.7	55

3. Coordinación de aislamiento en líneas de transmisión

La coordinación de aislamiento en líneas de transmisión se define como la selección de la resistencia de aislamiento necesaria para la protección del sistema, es decir que el número de desconexiones de la línea de transmisión sea el mínimo posible, elevando la confiabilidad del sistema de transmisión [2], [6].

Para realizar la coordinación de aislamiento en líneas de transmisión primero se consideran los sobre voltajes que se pueden aplicar al aislamiento en todas las condiciones normales y transitorias, determinando así los siguientes sobre voltajes [7]:

1. Sobre voltajes de maniobra.
2. Sobre voltajes de origen atmosférico.
3. Sobre voltajes por contaminación (frecuencia industrial)

Para el desarrollo de la coordinación de aislamiento se tomará como referencia a los sobre voltajes por contaminación.

3.1 Sobre voltajes por contaminación.

Los sobre voltajes originados por contaminación en las líneas de transmisión, debido a su comportamiento son considerados como sobre voltajes temporales, ya que los mismos representan un sobre voltaje a frecuencia industrial de duración relativamente larga. Los sobre voltajes temporales pueden ser amortiguada débilmente o no amortiguada. Su frecuencia puede ser algunas veces inferior o superior a la frecuencia industrial [8]–[10], [13].

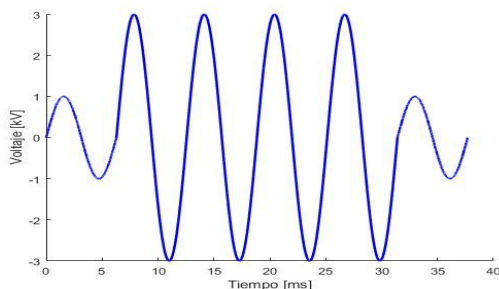


Figura 8. Forma de onda de sobre voltaje temporal.

Tabla 2: Sobre voltajes temporales.

Sobre voltajes Temporales	
Rangos de forma de voltaje.	Forma normalizada de voltaje.
$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_t$ $\geq 0,03$	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$

3.2 Coordinación de aislamiento con restricción de contaminación.

Por medio de pruebas hechas en el extranjero y la explotación de líneas de transmisión en nuestro país, se puede establecer que, para una cantidad constante de contaminación, el voltaje máximo en condiciones normales que puede resistir un aislador es proporcional a su distancia de fuga [16]–[20]. Por lo que para los distintos grados de contaminación que se pueden presentar en nuestro país, se establecerán cuáles deben ser las distancias de fuga unitarias mínimas que aseguren un buen comportamiento frente a la contaminación, tomando en cuenta las recomendaciones de otros países.

El número de aisladores necesarios para un cierto grado de contaminación, se puede determinar mediante la siguiente expresión [22]–[25]:

$$Numero_Aisladores = \frac{V_{L-T} \times D_{fo}}{D_{fuga} \times \delta^n} \quad (1)$$

En donde:

V_{L-T} : Voltaje fase tierra máximo de operación
 D_{fo} : Distancia de fuga específica por contaminación.

D_{fuga} : Distancia de fuga por cada aislador.

δ^n : Densidad relativa del aire

El voltaje fase tierra máximo de operación será:

$$V_{L-T} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times 1.05 \quad (2)$$

En donde:

V_L : Voltaje de línea.

La densidad del aire respecto a la ubicación de la línea de transmisión se la puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{3.92 \times P_b}{273 + t} \quad (3)$$

En donde:

P_b : Presión barométrica en [cm/Hg]

t : Temperatura en [°C]

La presión barométrica estará relacionada con los kilómetros sobre el nivel del mar, por lo que:

$$P_b = \frac{0.885^{kmsnm} \times 760}{10} \quad (4)$$

La densidad relativa del aire será δ^n , en donde n dependerá del nivel de voltaje de la línea de transmisión, y oscilará entre 0.9 y 1.

$$n = 1 \text{ si } V_L \leq 230 \text{ kV} \quad (5)$$

$$n = 0.9 \text{ si } V_L > 230 \text{ kV} \quad (6)$$

3.3 Critical Flash Overvoltage

Considerando que para la coordinación de aislamiento es importante calcular el valor del CFO, dentro del análisis de contaminación se lo determina por medio de una formulación matemática [9].

$$CFO = 72.3 + \frac{1.64}{C} \quad 0.02 < C < 0.04 \quad (7)$$

$$CFO = 72.3 + \frac{1.96}{C} \quad 0.02 < C < 0.04 \quad (8)$$

En donde C representa el valor de contaminación en $\frac{mg}{cm^2}$, la formulación matemática se dividirá respecto a los valores

de contaminación que serán establecidos por las normas IEC e IEEE y por el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE), considerando que el valor de CFO vendrá en $\frac{kV}{m}$.

Tabla 3: Niveles de contaminación en mg/cm²

Nivel de Contaminación	CIGRE	IEEE	IEC
Liger a	0.03-0.06	0.03-0.06	0.03-0.06
Med ia	0.06-0.12	0.06-0.10	0.10-0.20
Fuer te	0.12-0.24	> 0.10	0.30-0.40
Muy fuerte	0.24-0.48		

Para determinar el CFO en kV, se procede a calcular la longitud de la cadena de aisladores, determinados por la coordinación de aislamiento considerando contaminación en la línea de transmisión.

$$Longitud = Na * h \quad (9)$$

$$CFO [kV] = CFO \times Longitud \quad (10)$$

En donde:

Na : Número de aisladores determinados por contaminación.

h : Altura del aislador en [m]

Se debe tener en cuenta que la altura del aislador será de 146 mm de manera general, es decir que el valor mencionado no cambiara, sin importar el tipo de aislador a implementar ya sea Estándar o FOG.

4. Metodología desarrollada para el aislamiento de las líneas de transmisión del Sistema Nacional de Transmisión.

El Ecuador se encuentra atravesado por la línea ecuatorial, dividiendo en los hemisferios Norte y Sur. La tierra posee alrededor de 60 zonas, por lo que nuestro país se encuentra en la zona 17 y zona 18. La ruta de la línea de transmisión se encuentra tanto en un terreno escarpado dentro de grandes altitudes como un terreno costero bastante nivelado. A los efectos de este trabajo se han asumido dos tipos de terreno.

Zona 1: Zona costera, limitada por el océano pacífico en el oeste y por los Andes en el este con alturas inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar. En general, este terreno está bastante nivelado con algunas secciones de suelo pantanoso y baja resistividad de la tierra.

Zona 2: Zona de gran latitud, montañosa, ubicada entre las dos cadenas montañosas de los Andes. El terreno es empinado y montañoso con alturas que van desde 1000 metros hasta 3500 metros sobre el nivel del mar, con una altura predominante de 2500 metros [14],[15].

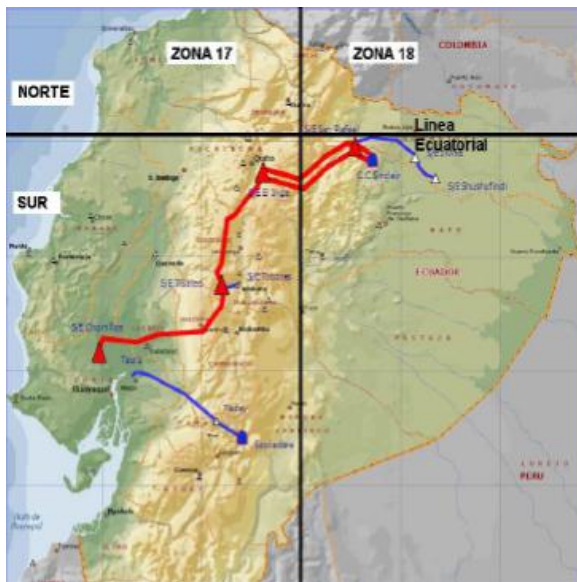


Figura 9. Zonas geográficas del Ecuador.

Para el desarrollo del aislamiento en las líneas de transmisión del SNT (Sistema Nacional de Transmisión), se considerarán variables en las que sus valores cambiarán dependiendo en la zona donde se encuentre ubicada la línea de transmisión, estas

variables serán el nivel isoceraunico y la temperatura ambiente, definiendo así valores normados por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, ahora utilizados por la Corporación Eléctrica del Ecuador Unidad de Negocio Transelectric, para el diseño, construcción y aislamiento de las líneas de transmisión [14],[15].

Tabla 4: Nivel isoceraunico y temperatura ambiente en zona 1 y zona 2.

	Zona 1	Zona 2
Nivel Isoceraúnico	30	50
Temperatura ambiente	25 °C	12 °C

4.1 Algoritmo para el análisis de coordinación de aislamiento con restricción de contaminación.

Con el fin de realizar un análisis de coordinación de aislamiento considerando el efecto de contaminación, se implementó el siguiente algoritmo, mismo que considera condiciones eléctricas y ambientales para su desarrollo, tomando en cuenta las tablas de ubicación de las líneas de transmisión generadas por CELEC EP – Transelectric.

Algoritmo para Coordinación de aislamiento.

Paso 1: Definir los datos de la línea de transmisión.

V_L : Voltaje de línea

V_{L-T} : Voltaje máximo de línea a tierra.

D_{fo} : Distancia de fuga por contaminación.

D_{fuga} : Distancia de fuga por aislador.

δ^n : Densidad relativa del aire.

Paso 2: Definir variables.

δ : Densidad

P_b : Presión barométrica.

$$\delta = \frac{3.92 \times P_b}{273 + t}$$

δ^n :Densidad relativa del aire.
 $n = 1$ si $V_L \leq 230$ kV
 $n = 0.9$ si $V_L > 230$ kV

Paso 3: Coordinación de aislamiento considerando normativas.

$$\text{Numero_Aisladores} = \frac{V_{L-T} \times D_{fo}}{D_{fuga} \times \delta^n}$$

Paso 4: Determinación de la longitud de la cadena de aisladores.

$$\text{Longitud} = \text{Numero_Aisladores} \times h$$

Paso 5: Calculo del Critical Flash Overvoltage.

$$CFO = 72.3 + \frac{1.64}{C} \quad 0.02 < C < 0.04$$

$$CFO = 72.3 + \frac{1.96}{C} \quad 0.02 < C < 0.04$$

$$CFO [kV] = CFO \times \text{Longitud}$$

Paso 6: Comparación de resultados en coordinación de aislamiento.

Paso 7: Análisis del comportamiento del Critical Flash Overvoltage.

Paso 8: Fin.

4.2 Línea de Transmisión Tanicuchi - Totoras a 138 kV.

La línea de transmisión Tanicuchi – Totoras a 138 kV, es perteneciente al sistema de transmisión Tanicuchi 230/138 kV. Actualmente en la Zona Norte, la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi (ELEPCO), tiene problemas por el aumento de la demanda y a su vez existe un problema con los lahares del volcán Cotopaxi. Debido al proceso eruptivo del volcán el sistema de transmisión de CELEC EP – Transeletréc y el sistema de sub-transmisión de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi (ELEPCO) se está viendo afectado. De ocurrir una erupción volcánica, produciría una

desconexión de carga que está bajo la responsabilidad de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi (ELEPCO), por lo que, para abastecer la demanda del sector del norte de la provincia de Cotopaxi, se ha provisto construir un sistema de transmisión de 230/138 kV. [3].

Tabla 5: Características generales de la línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

Línea de Transmisión Tanicuchi - Totoras			
Características			
Nivel de voltaje [kV]	Longitud [km]	Torres	Contaminación
138	11.5	AR2 AL2 SA2 SL2	Ligera

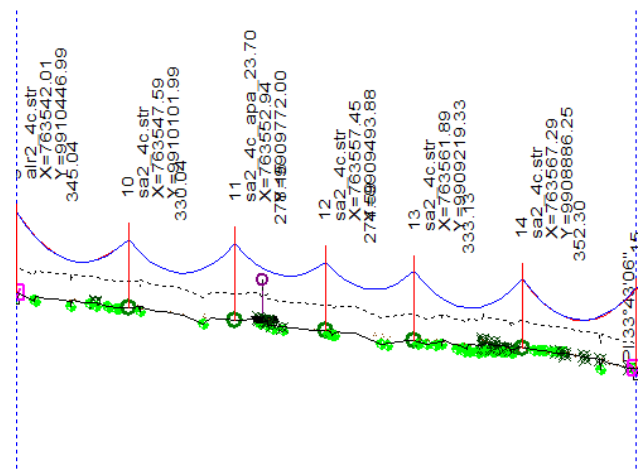


Figura 10. Simulación de línea de transmisión Tanicuchi - Totoras en el software PLS – CAD.

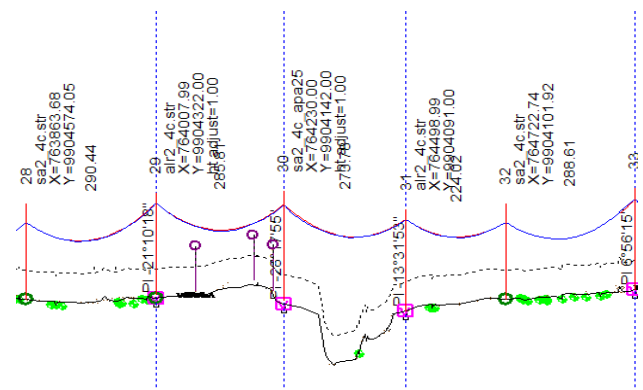


Figura 11. Simulación de línea de transmisión Tanicuchi - Totoras en el software PLS – CAD.

4.3 Línea de Transmisión Concordia – Pedernales a 138 kV (aislada 230 kV)

La construcción del Sistema de Transmisión La Concordia – Pedernales a 138 kV (aislada a 230 kV por motivos de demanda), permitirá habilitar un nuevo punto de conexión desde el Sistema Nacional de Transmisión a la zona norte de la provincia de Manabí, para su implementación se prevé el seccionamiento de uno de los circuitos de la línea de transmisión Santo Domingo – Esmeraldas a 138 kV en el sector de La Concordia, esta línea de transmisión atraviesa por zonas montañosas entre La Concordia y Pedernales [3].

Tabla 6: Características generales de la línea de transmisión Concordia – Pedernales.

Línea de Transmisión Concordia - Pedernales			
Nivel de voltaje [kV]	Longitud [km]	Características	
		Torres	Contaminación
138	80	AR1 AL1 SA1 SL1	Media

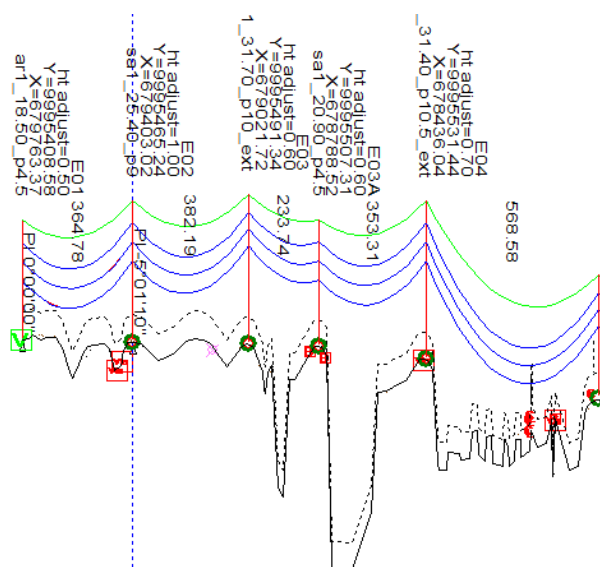


Figura 12. Simulación de línea de transmisión Concordia - Pedernales en el software PLS-CAD.

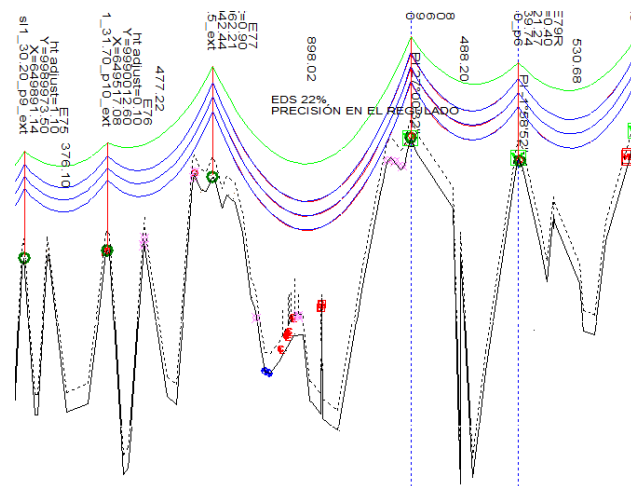


Figura 13. Simulación de línea de transmisión Concordia - Pedernales en el software PLS-CAD.

4.4 Línea de Transmisión Santa Rosa – Pomasqui II a 230 Kv.

El Sistema de Transmisión Santa Rosa - El Inga - Pomasqui II a 230 kV ubicado en la ciudad de Quito perteneciente a la provincia de Pichincha, permite abastecer la demanda de energía de la Empresa Eléctrica Quito, mejorando las condiciones de calidad y seguridad de la zona norte del país, así como permite la conexión de la Subestación El Inga al Sistema Nacional de Transmisión a nivel de 230 kV, esta línea de transmisión atraviesa la ciudad de Quito por diferentes zonas, cumpliendo con las franjas de seguridad, disminuyendo así el impacto ambiental [3].

Tabla 7: Características generales de la línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

Línea de Transmisión Santa Rosa – Pomasqui II			
Nivel de voltaje [kV]	Características		
	Longitud [km]	Torres	Contaminación
230	67	AR2	Ligera
		AL2	
		SA2	
		SL2	
		SP2	

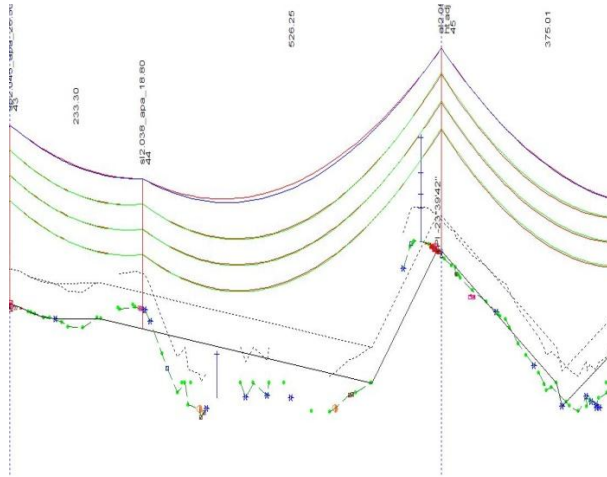


Figura 14. Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.

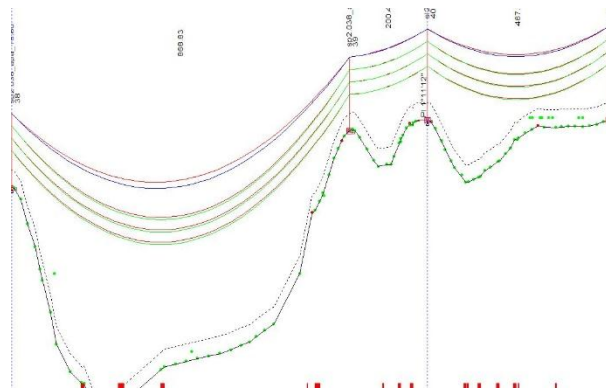


Figura 15. Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.

4.5 Línea de Transmisión Chongón – Santa Elena a 230 Kv.

La línea de transmisión Chongón – Santa Elena a 230 kV, se llevó a cabo entre las provincias de Guayas y Santa Elena, atravesando las parroquias de: Chongón en el cantón Guayaquil y Santa Elena en el cantón de Santa Elena. Surge por la necesidad de mejorar el abastecimiento de energía en la zona costera del país, con el fin de satisfacer la demanda en la ciudad de Guayaquil. La línea de transmisión atravesará, por sectores rurales. Los terrenos por los cuales atraviesa la línea de transmisión son planos en unos tramos y en otros ondulados con bajas pendientes. En el trayecto, la línea atraviesa inevitablemente por terrenos del Bosque Protector Subcuenca del río Chongón [4].

Tabla 8: Características generales de la línea de transmisión Chongón – Santa Elena

Línea de Transmisión Chongón – Santa Elena			
Características			
Nivel de voltaje [kV]	Longitud [km]	Torres	Contaminación
230	83	SL1 SA1 AL1 AR1	Pesada

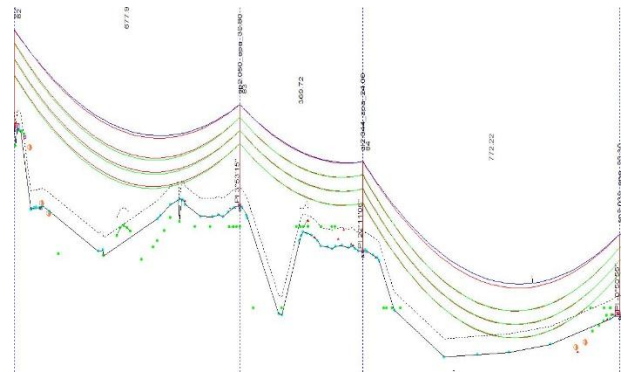


Figura 16. Simulación de línea de transmisión Chongón - Santa Elena en el software PLS – CAD.

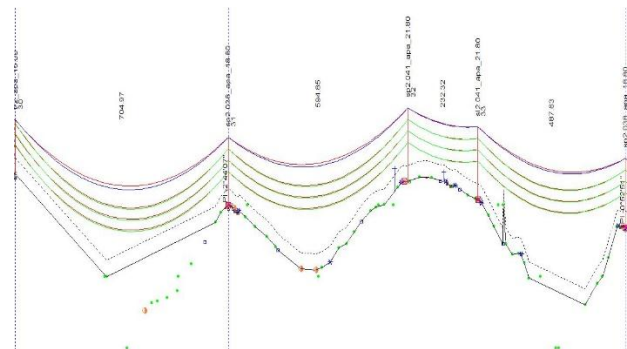


Figura 17. Simulación de línea de transmisión Santa Rosa - Pomasqui II en el software PLS – CAD.

4.6 Línea de Transmisión San Rafael – El Inga a 500 kV.

La Corporación Eléctrica del Ecuador Unidad de Negocio Transelectric, tuvo la responsabilidad de la ejecución de los proyectos de transmisión eléctrica que permitieron la incorporación al Sistema Nacional Interconectado de los Proyectos hidroeléctricos Coca Codo Sinclair de 1500 MW y Sopladora de 487 MW. El proyecto de transmisión encargado de transmitir la energía desde Coca Codo Sinclair y

Sopladora, fue el denominado “Construcción del sistema de extra alta tensión de 500 kV, obras asociadas a 230 kV y ampliación del Sistema Nacional de Transmisión (SNT)” [5].

La línea de transmisión San Rafael – El Inga a 500 kV parte desde la S/E San Rafael que se encuentra ubicada en la provincia de Napo, y llega a la S/E El Inga ubicada la provincia de Pichincha, recorriendo por zonas de altitud que varían entre los 1200 y 4100 metros sobre el nivel del mar (msnm), referidos a la S/E San Rafael, y 2850 msnm a la llegada a la S/E El Inga.

Tabla 9: Características generales de la línea de transmisión San Rafael – El Inga.

Línea de Transmisión San Rafael – El Inga			
Características			
Nivel de voltaje [kV]	Longitud [km]	Torres	Contaminación
500	126	SL1 SA1 AL1 AR1	Ligera Media

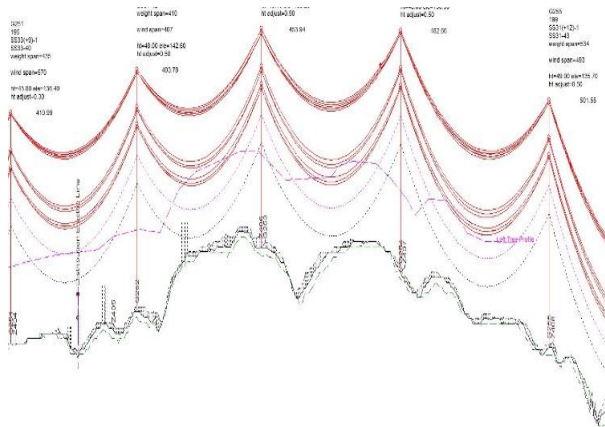


Figura 18. Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.

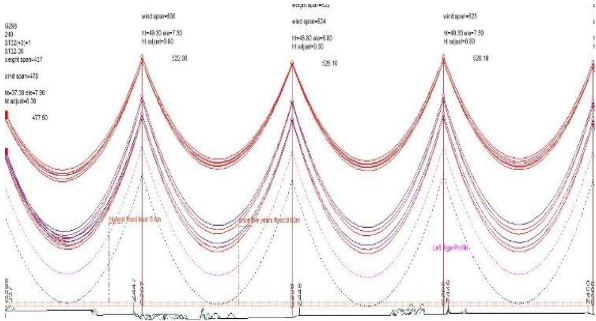


Figura 19. Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.

4.7 Línea de Transmisión Tisaleo – Chorrillos a 500 kV.

La línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos a 500 kV, interconecta la S/E Tisaleo ubicada en la provincia de Tungurahua, y S/E Chorrillo ubicada en la provincia del Guayas, cruzando en su recorrido por las provincias de Chimborazo, Bolívar y Los Ríos. La ruta de la línea de transmisión atraviesa por zonas de altitud que varía entre: 3.350 y 4.000 metros sobre el nivel del mar a la salida de la subestación Tisaleo y en el sector del volcán Chimborazo respectivamente; Por parte de la S/E Chorrillos ubicada a 28 msnm [5].

Tabla 10: Características generales de la línea de transmisión San Rafael – El Inga.

Línea de Transmisión Tisaleo – Chorrillos			
Características			
Nivel de voltaje [kV]	Longitud [km]	Torres	Contaminación
500	200	SL1 SA1 AL1 AR1	Ligera Media

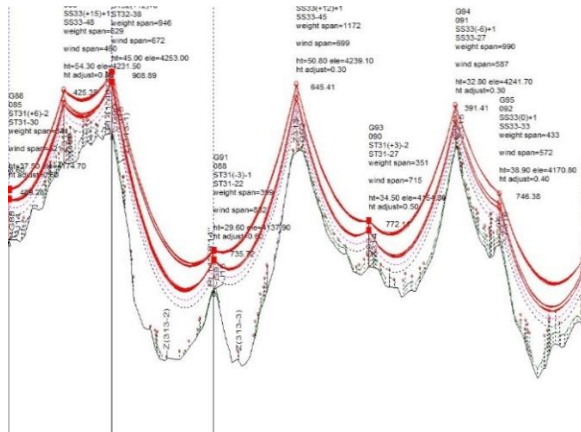


Figura 20. Simulación de línea de transmisión Tisaleo - Chorrillos en el software PLS – CAD.

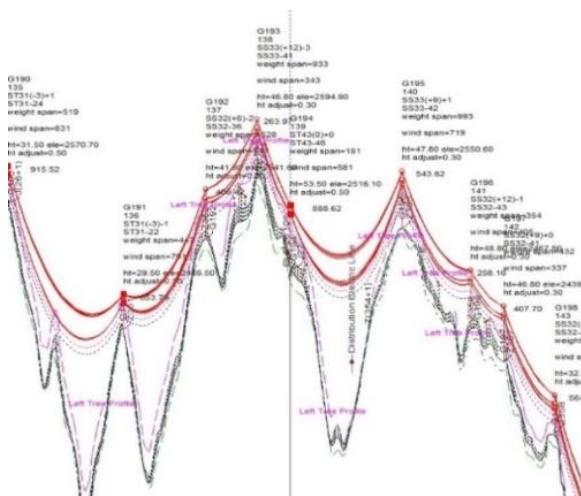


Figura 21. Simulación de línea de transmisión San Rafael - El Inga en el software PLS – CAD.

5. Resultados

La metodología propuesta será sometida a seis casos de aplicación considerando que cada caso será enfocado a las normas IEC, IEEE y al Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), es decir seis líneas de transmisión que constituyan diferentes niveles de contaminación a diferentes niveles de voltaje, cumpliendo con las características del Sistema Nacional de Transmisión.

5.1 Líneas de Transmisión 138 kV.

En las figuras 21 a 25, se podrá visualizar el número óptimo de aisladores por fase que se deberán implementar en las líneas de transmisión Concordia – Pedernales y Tanicuchi – Totoras, considerando los

niveles de contaminación por cada normativa, y el tipo de aislador a utilizar, tomando en cuenta que se manejarán dos tipos de aisladores, estándar y FOG.

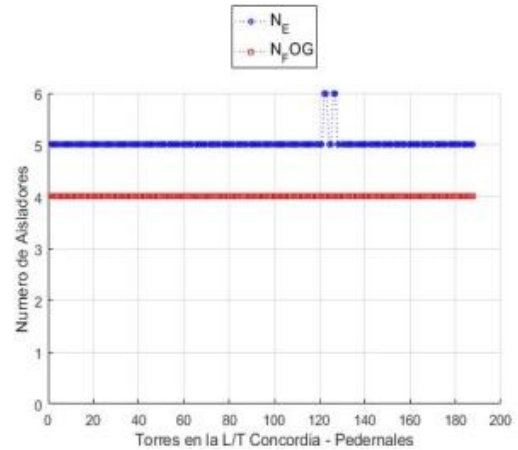


Figura 22. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.

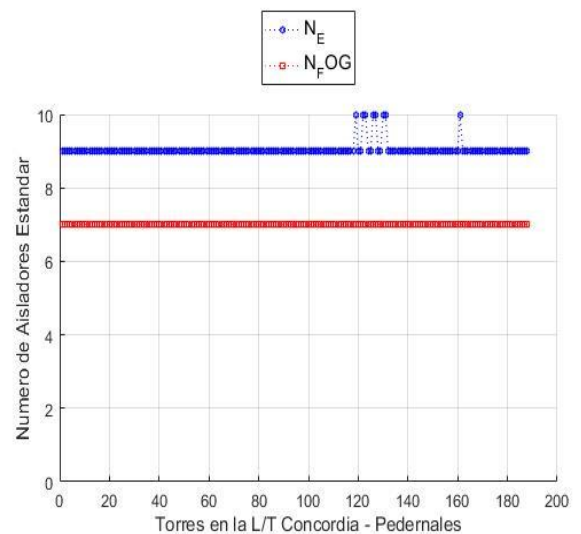


Figura 23. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.

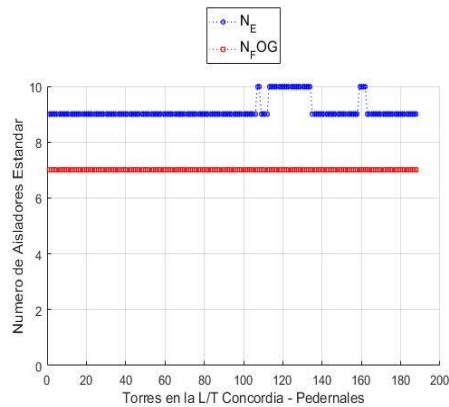


Figura 24. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Concordia – Pedernales.

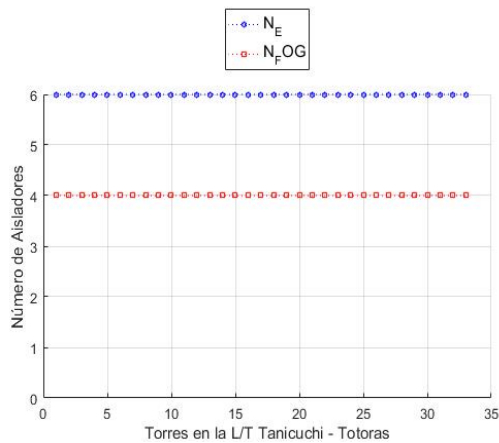


Figura 25. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

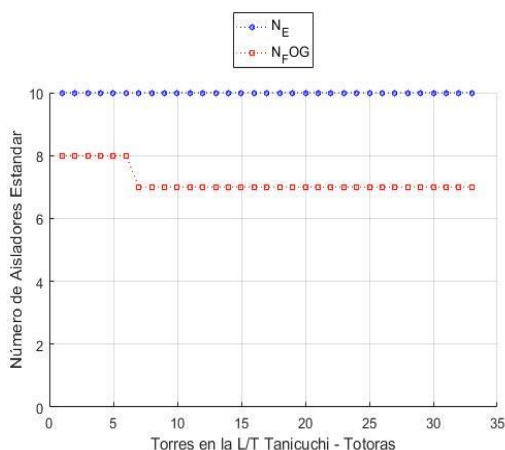


Figura 26. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

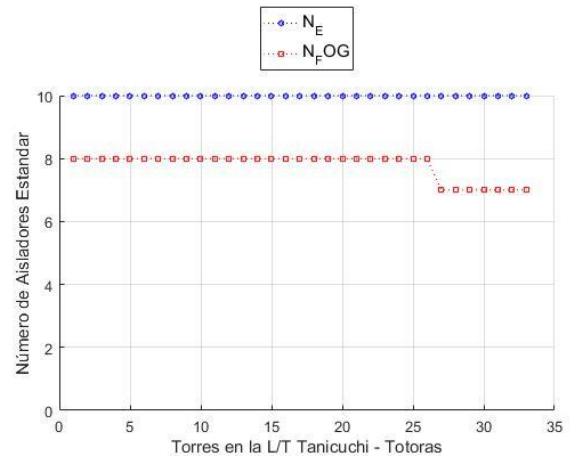


Figura 27. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

Tabla 11: Número de aisladores en línea de transmisión Concordia – Pedernales por Transelectric.

Línea de Transmisión Concordia - Pedernales			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aislador es Suspensión	Aisladores Retención
138	Estándar	13	14

El número de aisladores que instalo Transelectric en la línea de transmisión Concordia – Pedernales es de 13 en torres de suspensión y 14 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

Tabla 12: Número de aisladores en línea de transmisión Tanicuchi - Totoras por Transelectric.

Línea de Transmisión Tanicuchi - Totoras			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aislador es Suspensión	Aisladores Retención
138	FOG	13	14

El número de aisladores que instaló Transelectric en la línea de transmisión Tanicuchi - Totoras es de 13 en torres de suspensión y 14 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

En las figuras 26 a 30 se analizará el comportamiento del Critical Flash Overvoltage respecto al número de aisladores estándar y FOG de las líneas de transmisión a 138 kV, además de verificar el comportamiento del Critical Flash Overvoltage respecto a la densidad relativa del aire.

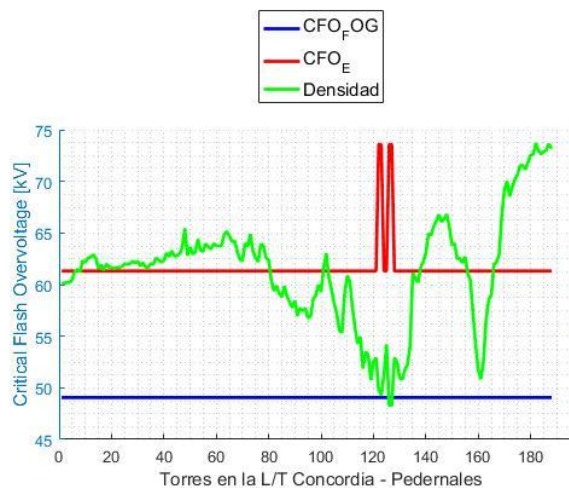


Figura 28. CFO según IEC en línea de transmisión Concordia – Pedernales.

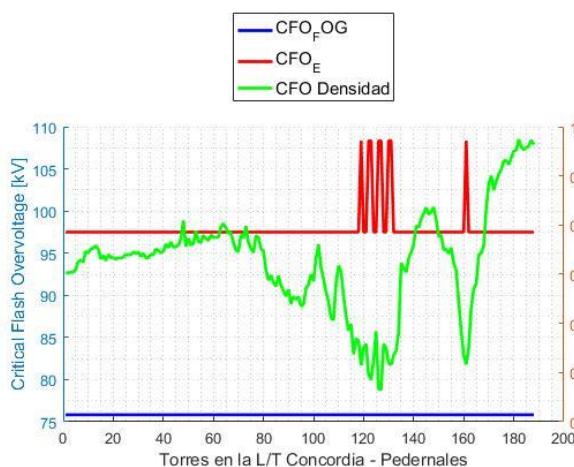


Figura 29. CFO según IEEE en línea de transmisión Concordia – Pedernales

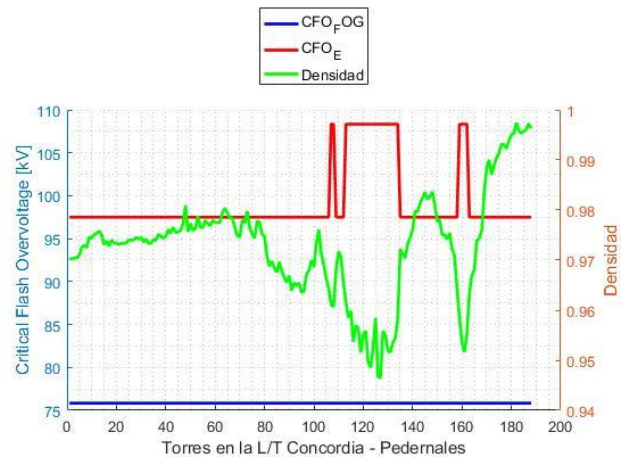


Figura 30. CFO según EPRI en línea de transmisión Concordia – Pedernales.

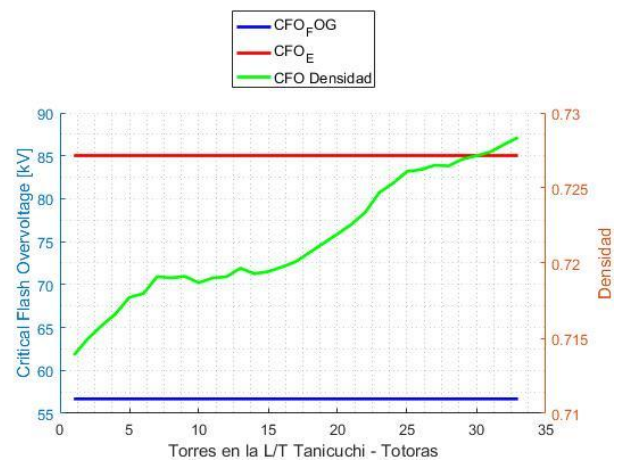


Figura 31. CFO según IEC en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

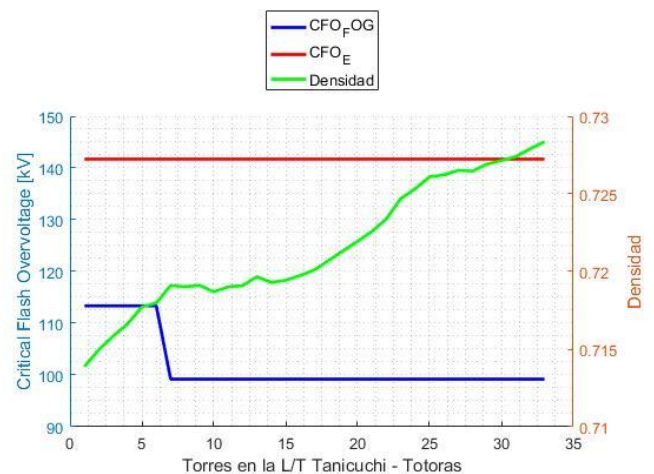


Figura 32. CFO según IEEE en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

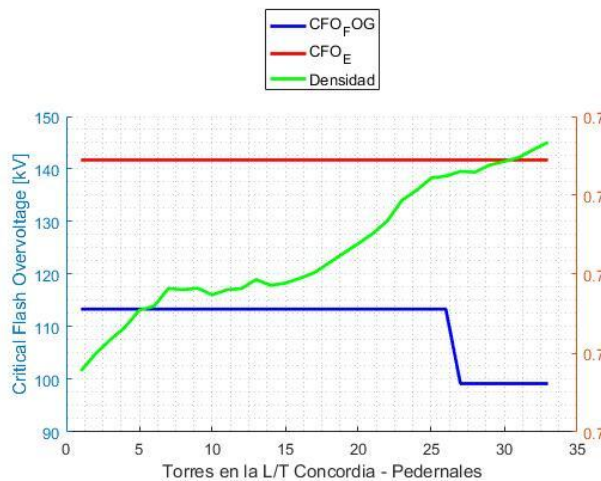


Figura 33. CFO según EPRI en línea de transmisión Tanicuchi – Totoras.

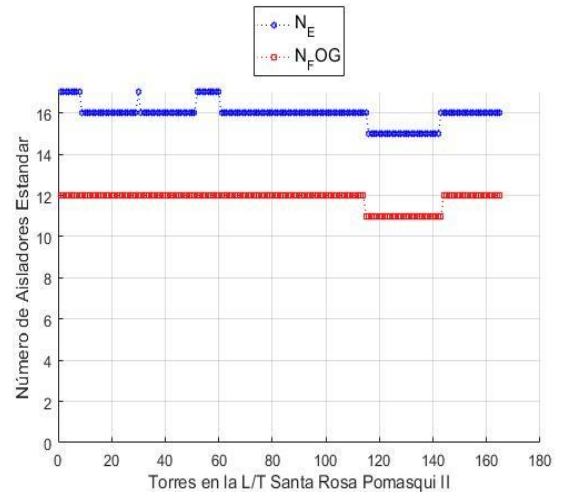


Figura 35. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

5.2 Líneas de Transmisión 230 kV.

En las figuras 32 a 37, se podrá visualizar el número óptimo de aisladores por fase que se deberán implementar en las líneas de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II y Chongón – Santa Elena, considerando los niveles de contaminación por cada normativa, y el tipo de aislador a utilizar, tomando en cuenta que se manejarán dos tipos de aisladores, estándar y FOG.

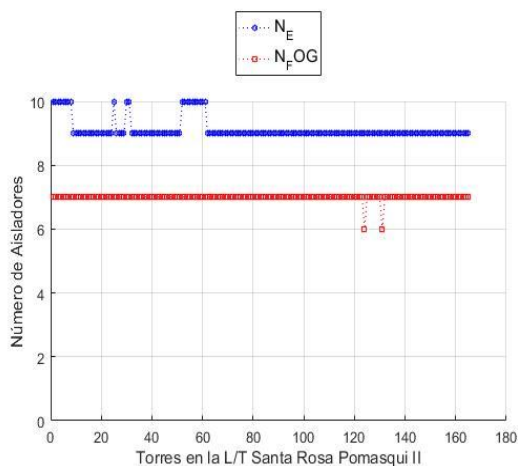


Figura 34. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

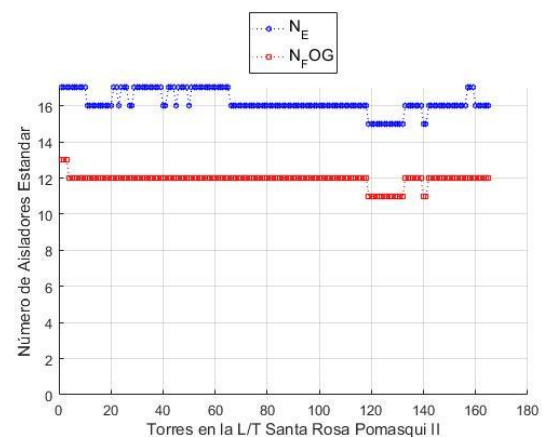


Figura 36. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

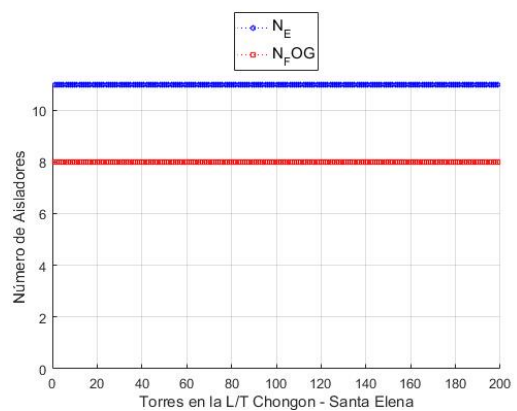


Figura 37. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

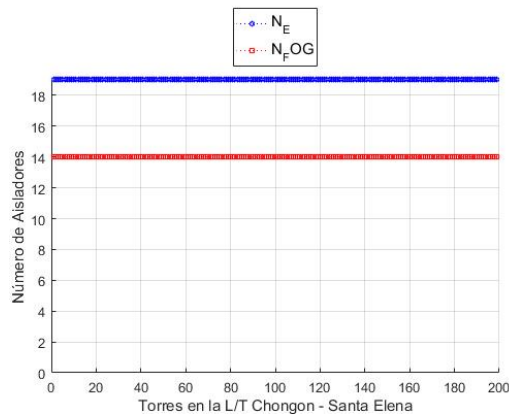


Figura 38. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

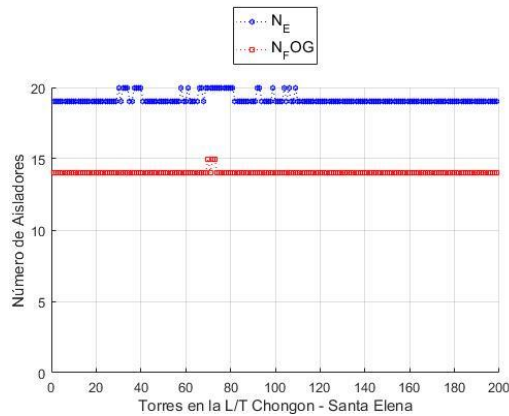


Figura 39. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

Tabla 13: Número de aisladores en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II por Transelectric.

Línea de Transmisión Santa Rosa – Pomasqui II			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aisladores Suspensión	Aisladores Retención
230	Estándar	20	21

El número de aisladores que instaló Transelectric en la línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II es de 20 en torres de suspensión y 21 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el

fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

Tabla 14: Número de aisladores en línea de transmisión Chongón – Santa Elena por Transelectric.

Línea de Transmisión Chongón – Santa Elena			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aisladores Suspensión	Aisladores Retención
230	FOG	13	14

El número de aisladores que instaló Transelectric en la línea de transmisión Chongón – Santa Elena es de 13 en torres de suspensión y 14 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

En las figuras 36 a 40 se analizará el comportamiento del Critical Flash Overvoltage respecto al número de aisladores estándar y FOG de las líneas de transmisión a 230 kV, además de verificar el comportamiento del Critical Flash Overvoltage respecto a la densidad relativa del aire.

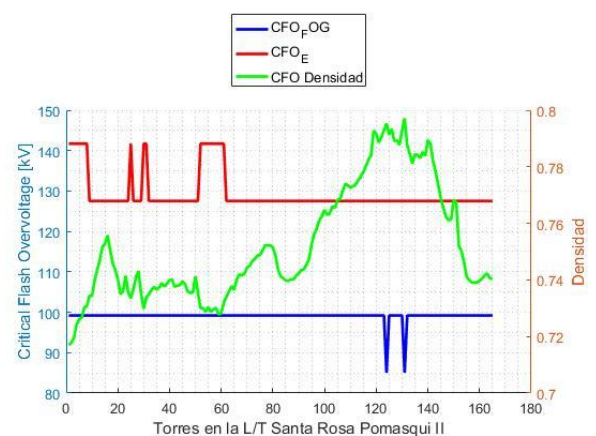


Figura 40. CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

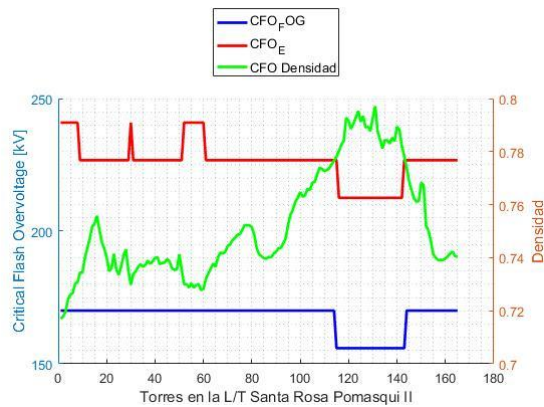


Figura 41. CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

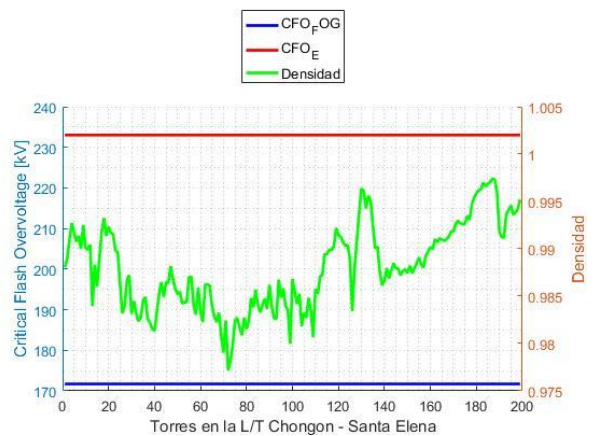


Figura 44. CFO según IEEE en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

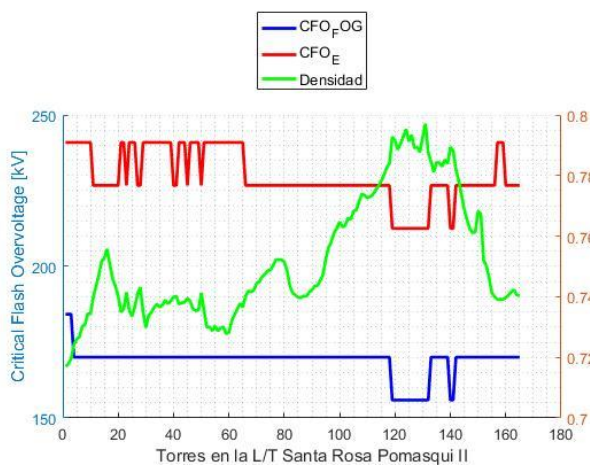


Figura 42. CFO según IEC en línea de transmisión Santa Rosa – Pomasqui II.

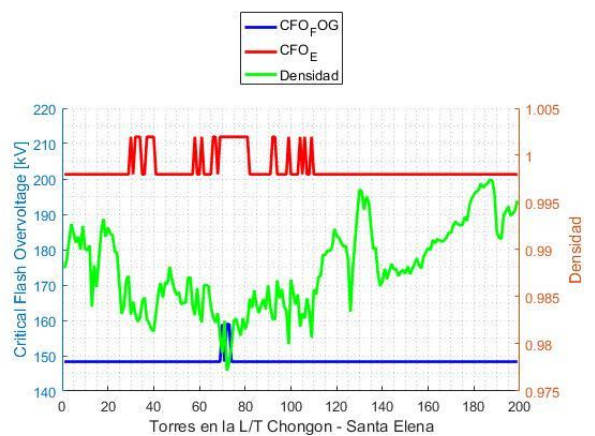


Figura 45. CFO según EPRI en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

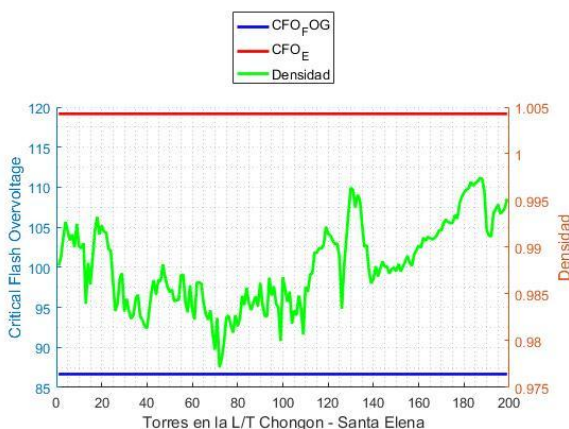


Figura 43. CFO según IEC en línea de transmisión Chongón – Santa Elena.

5.3 Líneas de Transmisión a 500 kV.

En las figuras 44 a 50, se podrá visualizar el número óptimo de aisladores por fase que se deberán implementar en las líneas de transmisión San Rafael – El Inga y Tisaleo - Chorrillos, considerando los niveles de contaminación por cada normativa, y el tipo de aislador a utilizar, tomando en cuenta que se manejarán dos tipos de aisladores, estándar y FOG.

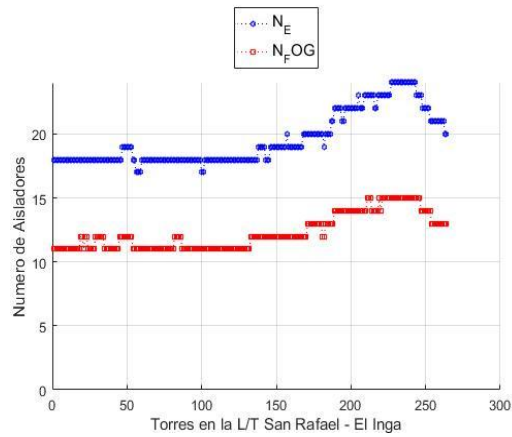


Figura 46. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

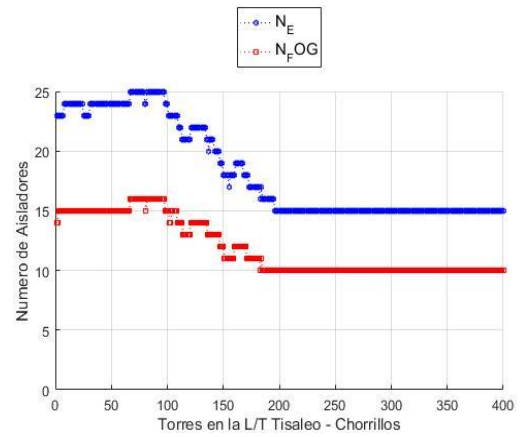


Figura 49. Número de aisladores estándar y FOG según IEC, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

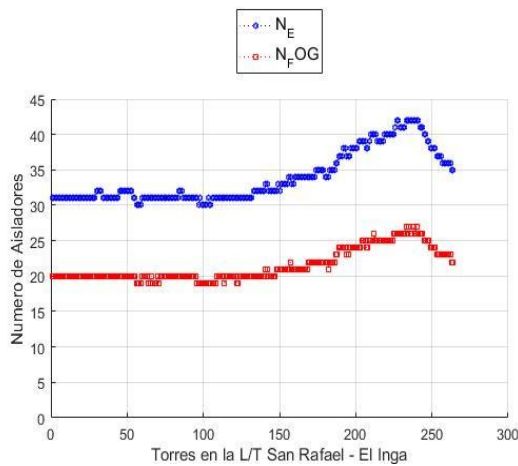


Figura 47. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

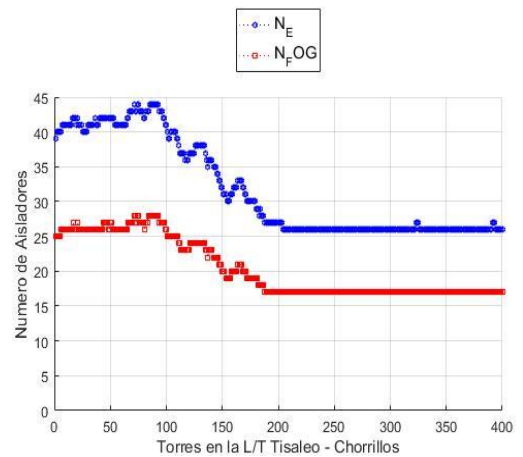


Figura 50. Número de aisladores estándar y FOG según IEEE, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

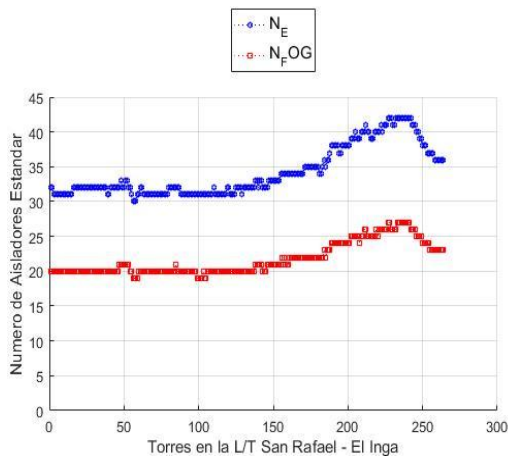


Figura 48. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

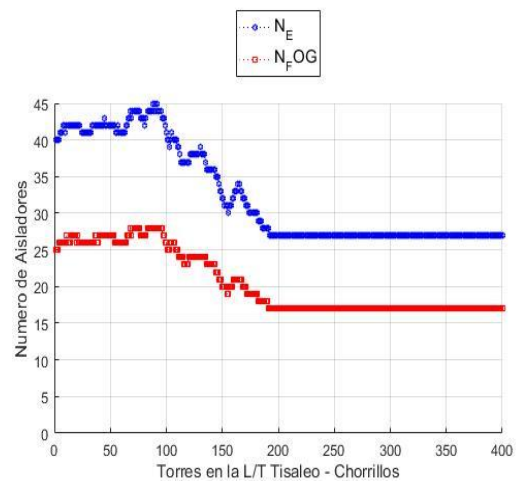


Figura 51. Número de aisladores estándar y FOG según EPRI, en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

Tabla 15: Número de aisladores en línea de transmisión San Rafael – El Inga por Transelectric.

Línea de Transmisión San Rafael – El Inga			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aisladores Suspensión	Aisladores Retención
230	Estándar	28	31

El número de aisladores que instaló Transelectric en la línea de transmisión San Rafael – El Inga es de 25 en torres de suspensión y 26 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

Tabla 16. Número de aisladores en línea de transmisión Tisaleo - Chorrillos por Transelectric.

Línea de Transmisión Tisaleo – Chorrillos.			
Nivel de voltaje [kV]	Tipo Aislador	Aisladores Suspensión	Aisladores Retención
230	FOG	28	31

El número de aisladores que instaló Transelectric en la línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos es de 25 en torres de suspensión y 26 en torres de retención, se incrementa un aislador en retención con el fin de cumplir con las distancias de seguridad en la torre de transmisión.

En las figuras 36 a 40 se analizará el comportamiento del Critical Flash Overvoltage respecto al número de aisladores estándar y FOG de las líneas de transmisión a 500 kV, además de verificar el comportamiento del Critical Flash

Overvoltage respecto a la densidad relativa del aire.

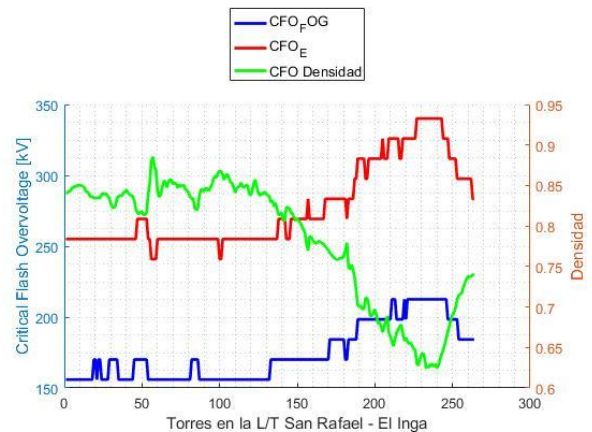


Figura 52. CFO según IEC en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

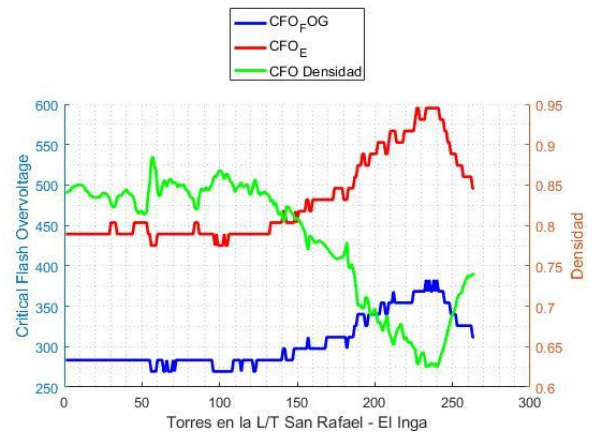


Figura 53. CFO según IEEE en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

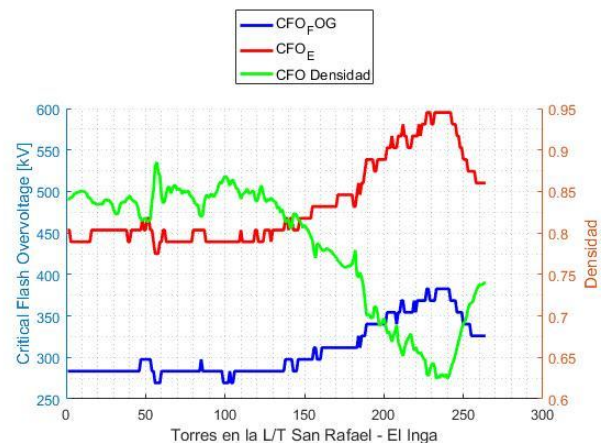


Figura 54. CFO según EPRI en línea de transmisión San Rafael – El Inga.

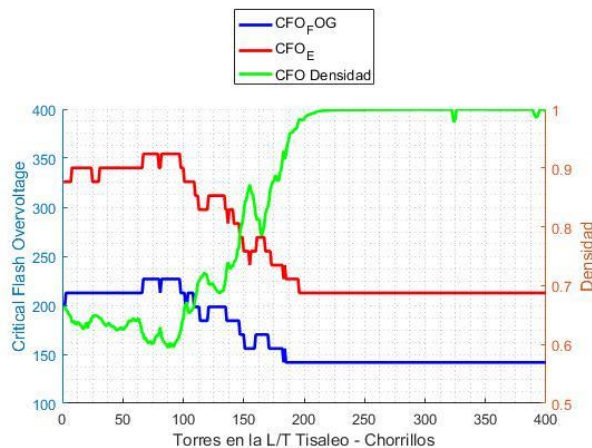


Figura 55. CFO según IEC en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

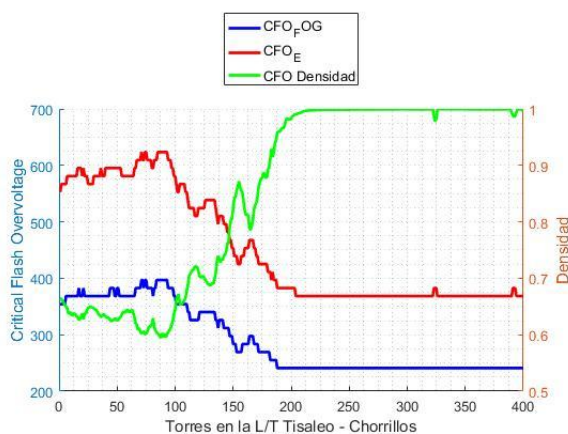


Figura 56. CFO según IEEE en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

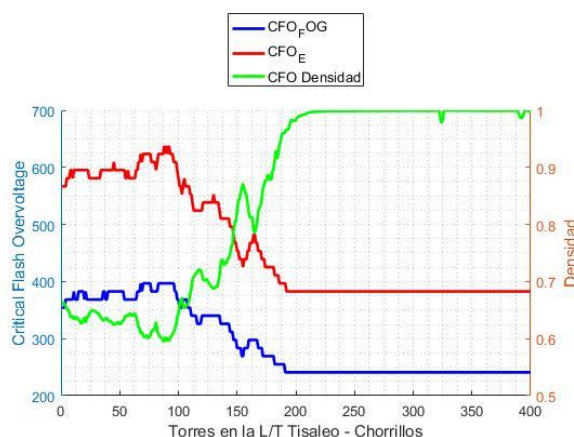


Figura 57. CFO según EPRI en línea de transmisión Tisaleo – Chorrillos.

Conclusiones

La coordinación de aislamiento en líneas de transmisión de alto voltaje considerando contaminación, establece que la cantidad de aisladores por fase a instalarse será

directamente proporcional al nivel de contaminación en donde se encuentre ubicada la línea de transmisión, determinando que en lugares con mayor contaminación el nivel de aislamiento será mayor, considerando las distancias de fuga de los aisladores que vayan a ser utilizados en la implementación, tomando en cuenta que los aisladores estándar tienen menor distancia de fuga que los aisladores FOG. De esta manera evitar desconexiones en la línea de transmisión provocadas por contaminación.

Implementar la coordinación de aislamiento en líneas de transmisión, puede darse en base a diferentes normativas como IEC, IEEE, y en algunos casos al Instituto de investigación de energía eléctrica (EPRI), diferenciándose entre sí por sus valores de contaminación, estableciendo que para cumplir con la normativa IEC la cantidad de aisladores a instalar será menor, a diferencia con la normativa IEEE y a EPRI en donde la cantidad de aisladores a instalar será mayor. EPRI, propone valores de contaminación que están en la capacidad de cubrir las normativas IEC e IEEE.

Los resultados obtenidos, concluyen que la cantidad de aisladores a instalarse en líneas de transmisión cercanas a zonas costeras serán mayores a diferencia de las líneas de transmisión en zonas cercanas a la sierra u oriente, ya que la contaminación salina es mucho más dañina que la contaminación por vegetación o smog, ya que por procesos de lluvia la salina es más complicada de remover.

La posibilidad de que exista un Critical Flash Overvoltage (CFO) por contaminación, dependerá de la mala coordinación de aislamiento y el exceso de contaminación, provocando de esta manera un sobre voltaje temporal o un arco eléctrico en la cadena de aisladores. El valor del CFO variara de acuerdo al nivel de contaminación y a la cantidad de aisladores instalados en la línea de transmisión. A demás la densidad

relativa del aire juega un papel importante en el desarrollo del CFO, ya que a mayor densidad relativa del aire mayor será el CFO.

El desarrollo de coordinación de aislamiento implementado por CELEC EP – TRANSELECTRIC, indica un número determinado de aisladores respecto a la zona en donde estará ubicada la línea de transmisión y al nivel de voltaje de la línea, considerando además el tipo de torre, de esta manera en muchos casos existe un sobre dimensionamiento de aislamiento en las líneas de transmisión, ya que se considera la peor condición a nivel de contaminación. El presente artículo establece un estudio más a fondo, considerando además la tabla de ubicación de la línea de transmisión, lo que nos permite obtener un valor más acertado respecto al aislamiento.

Trabajos futuros

El estudio de coordinación de aislamiento considerando contaminación, nos da la apertura de realizar estudios relacionados con el efecto de contaminación en el aislamiento de subestaciones. Además, nos facilitara diseñar el aislamiento abarcando todos los estudios referidos a los sobre voltajes que afectaran al aislamiento de las líneas de transmisión, de esta manera obtener resultados óptimos en cuanto a la cantidad de aisladores que estén en la capacidad de soportar sobre voltajes atmosféricos, de maniobra y a frecuencia industrial. Es importante mencionar que, al estudiar efectos contaminantes sobre aislamiento eléctrico, nos permitirá en un futuro proponer un tipo de material que reduzca el almacenamiento de contaminación en aisladores eléctricos.

Referencias

[1] D. Giménez, “Vano , luz y flecha Apoyos para líneas aéreas,” in *Tecnología de materiales*, 2002, pp. 1–14.

[2] Westinghouse, *Electrical Transmission Distribution Reference*.

2009.

[3] Transelectric, *Memoria técnica proyectos ejecutados por la Subgerencia de Proyectos de Expansión*. 2019.

[4] G. A. Company., *Descripción del proyecto Línea de Transmisión Chongón - Santa Elena a 230 kV. .*

[5] C. E. Transelectric, *Diseños definitivos, Suministro y construcción de sistemas de transmisión de extra alta tensión a 500 kV y obras asociadas a 230 kV y servicios de operación y mantenimiento de líneas de transmisión a 500 kV y subestaciones de 500/230 kV*. 2013.

[6] M. Velazco, *Coordinacion de Aislamiento en redes electricas de alta tension*. 2008.

[7] IEEE, “Std 1313.1 - Standard for Insulation Coordination — Definitions , Principles , and Rules,” *Electronics*, vol. 1996, 1996.

[8] Electric Power Research Institute, “AC Transmission Line Reference Book--200 kV and Above, Third Edition,” pp. 1–1074, 2005.

[9] Andrew R. Hileman, *Insulation coordination for power systems [Book Review]*, vol. 17, no. 2. 2005.

[10] A. R. Of and C. Knowledge, “158--Polluted insulators a review of current knowledge(CIGRE).pdf,” no. June, 2000.

[11] IEEE, “Capítulo 1. El proceso de contaminación del aislamiento Eléctrico externo. Capítulo 1,” 2005.

[12] IEEE Power Engineering Society, *IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination*. 1999.

[13] IEC, *Insulation coordination*. 1996.

[14] Transelectric, “Normas de proyecto para líneas 138kV.pdf.” .

[15] C. E. Transelectric, *Normas de proyecto para las líneas de 230 kV. .*

[16] F. H. Golde, “E.H.V. Transmission Line Reference Book,” *Electronics and Power*, vol. 15, no. 10. p. 363, 2010.

[17] INECEL, *Estudio de aislamiento de*

- la L/T Paute - Riobamba. .*
- [18] IEEE std 1313.2-1996, “Aisladores por cadena.pdf.” 1996.
 - [19] R. Drawings, “Design data – The Insulation coordination and Clearance to Structure 1 Input data,” 2013.
 - [20] R. Drawings, “Design data – The Insulation Coordination and Clearance to Structure DATA DESIGN-The Insulation Coordination and Clearance to Structures 1 . 1 Safety air distances for industrial frequency over voltages,” 2013.
 - [21] D. R. Tobergte and S. Curtis, “Determinación del largo de una cadena de aisladores,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
 - [22] Arturo Gajardo, *Determinación de Aislamiento en Lineas de Transmisión*. 1974.
 - [23] Bladimir Franco, “Contaminación por Salinidad en Lineas de Transmision Cercanas a la Costa.” 2002.
 - [24] Diego Jaramillo, “Análisis técnico económico de la futura linea de transmisión Coca Codo Sinclair - Pifo a 500 kV.” 2011.
 - [25] Sedemi, “Estudio de Aislamiento,” pp. 1–11, 2016.

ANEXOS

RESULTADOS – CANTIDAD DE AISLADORES

LÍNEA DE TRANSMISIÓN TANICUCHI - TOTORAS A 138 kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	3121,872	6	4	10	8	10	8
E2	3109,358	6	4	10	8	10	8
E3	3099,305	6	4	10	8	10	8
E4	3090,396	6	4	10	8	10	8
E5	3077,788	6	4	10	8	10	8
E6	3075,059	6	4	10	8	10	8
E7	3062,096	6	4	10	7	10	8
E8	3063,056	6	4	10	7	10	8
E9	3061,932	6	4	10	7	10	8
E10	3066,723	6	4	10	7	10	8
E11	3063,080	6	4	10	7	10	8
E12	3062,231	6	4	10	7	10	8
E13	3055,744	6	4	10	7	10	8
E14	3059,880	6	4	10	7	10	8
E15	3058,350	6	4	10	7	10	8
E16	3054,791	6	4	10	7	10	8
E17	3050,744	6	4	10	7	10	8
E18	3043,737	6	4	10	7	10	8
E19	3036,745	6	4	10	7	10	8
E20	3029,834	6	4	10	7	10	8
E21	3022,566	6	4	10	7	10	8
E22	3013,400	6	4	10	7	10	8
E23	2998,669	6	4	10	7	10	8
E24	2991,636	6	4	10	7	10	8
E25	2982,828	6	4	10	7	10	8
E26	2981,436	6	4	10	7	10	8
E27	2978,168	6	4	10	7	10	7
E28	2978,649	6	4	10	7	10	7
E29	2973,572	6	4	10	7	10	7
E30	2971,100	6	4	10	7	10	7

E31	2968,139	6	4	10	7	10	7
E32	2962,637	6	4	10	7	10	7
E33	2957,295	6	4	10	7	10	7

LÍNEA DE TRANSMISIÓN CONCORDIA - PEDERNALES A 138 kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	245,31	5	4	9	7	9	7
E2	244,41	5	4	9	7	9	7
E3	243,94	5	4	9	7	9	7
E4	243,08	5	4	9	7	9	7
E5	238,83	5	4	9	7	9	7
E6	225,50	5	4	9	7	9	7
E7	222,53	5	4	9	7	9	7
E8	226,30	5	4	9	7	9	7
E9	208,04	5	4	9	7	9	7
E10	210,69	5	4	9	7	9	7
E11	203,94	5	4	9	7	9	7
E12	202,45	5	4	9	7	9	7
E13	198,24	5	4	9	7	9	7
E14	204,21	5	4	9	7	9	7
E15	221,08	5	4	9	7	9	7
E16	214,68	5	4	9	7	9	7
E17	223,57	5	4	9	7	9	7
E18	213,41	5	4	9	7	9	7
E19	218,47	5	4	9	7	9	7
E20	218,88	5	4	9	7	9	7
E21	221,13	5	4	9	7	9	7
E22	219,05	5	4	9	7	9	7
E23	219,23	5	4	9	7	9	7
E24	218,01	5	4	9	7	9	7
E25	213,12	5	4	9	7	9	7
E26	213,74	5	4	9	7	9	7
E27	213,52	5	4	9	7	9	7
E28	208,93	5	4	9	7	9	7
E29	211,89	5	4	9	7	9	7
E30	209,21	5	4	9	7	9	7
E31	217,00	5	4	9	7	9	7
E32	211,33	5	4	9	7	9	7

E33	218,91	5	4	9	7	9	7
E34	218,76	5	4	9	7	9	7
E35	212,81	5	4	9	7	9	7
E36	213,86	5	4	9	7	9	7
E37	203,68	5	4	9	7	9	7
E38	206,85	5	4	9	7	9	7
E39	210,42	5	4	9	7	9	7
E40	207,43	5	4	9	7	9	7
E41	195,51	5	4	9	7	9	7
E42	201,99	5	4	9	7	9	7
E43	192,04	5	4	9	7	9	7
E44	200,87	5	4	9	7	9	7
E45	199,99	5	4	9	7	9	7
E46	197,20	5	4	9	7	9	7
E47	186,76	5	4	9	7	9	7
E48	155,39	5	4	9	7	9	7
E49	199,75	5	4	9	7	9	7
E50	185,69	5	4	9	7	9	7
E51	197,41	5	4	9	7	9	7
E52	194,40	5	4	9	7	9	7
E53	173,10	5	4	9	7	9	7
E54	191,36	5	4	9	7	9	7
E55	193,14	5	4	9	7	9	7
E56	180,46	5	4	9	7	9	7
E57	185,78	5	4	9	7	9	7
E58	189,51	5	4	9	7	9	7
E59	180,32	5	4	9	7	9	7
E60	183,81	5	4	9	7	9	7
E61	184,04	5	4	9	7	9	7
E62	183,27	5	4	9	7	9	7
E63	166,47	5	4	9	7	9	7
E64	160,62	5	4	9	7	9	7
E65	167,81	5	4	9	7	9	7
E66	177,26	5	4	9	7	9	7
E67	175,89	5	4	9	7	9	7
E68	192,55	5	4	9	7	9	7
E69	206,20	5	4	9	7	9	7
E70	208,23	5	4	9	7	9	7
E71	179,97	5	4	9	7	9	7
E72	185,00	5	4	9	7	9	7
E73	164,99	5	4	9	7	9	7
E74	192,94	5	4	9	7	9	7
E75	203,10	5	4	9	7	9	7
E76	210,15	5	4	9	7	9	7
E77	181,36	5	4	9	7	9	7

E78	183,70	5	4	9	7	9	7
E79	203,44	5	4	9	7	9	7
E80	206,83	5	4	9	7	9	7
E81	240,15	5	4	9	7	9	7
E82	257,56	5	4	9	7	9	7
E83	248,86	5	4	9	7	9	7
E84	261,06	5	4	9	7	9	7
E85	267,63	5	4	9	7	9	7
E86	250,03	5	4	9	7	9	7
E87	265,73	5	4	9	7	9	7
E88	276,12	5	4	9	7	9	7
E89	284,95	5	4	9	7	9	7
E90	273,11	5	4	9	7	9	7
E91	298,49	5	4	9	7	9	7
E92	285,37	5	4	9	7	9	7
E93	290,27	5	4	9	7	9	7
E94	285,84	5	4	9	7	9	7
E95	302,11	5	4	9	7	9	7
E96	299,48	5	4	9	7	9	7
E97	271,36	5	4	9	7	9	7
E98	264,55	5	4	9	7	9	7
E99	247,70	5	4	9	7	9	7
E100	258,85	5	4	9	7	9	7
E101	219,68	5	4	9	7	9	7
E102	196,12	5	4	9	7	9	7
E103	235,98	5	4	9	7	9	7
E104	255,25	5	4	9	7	9	7
E105	277,55	5	4	9	7	9	7
E106	294,86	5	4	9	7	9	7
E107	322,64	5	4	9	7	10	7
E108	325,95	5	4	9	7	10	7
E109	262,75	5	4	9	7	9	7
E110	232,30	5	4	9	7	9	7
E111	242,27	5	4	9	7	9	7
E112	285,27	5	4	9	7	9	7
E113	318,99	5	4	9	7	10	7
E114	344,52	5	4	9	7	10	7
E115	333,13	5	4	9	7	10	7
E116	385,82	5	4	9	7	10	7
E117	357,79	5	4	9	7	10	7
E118	362,83	5	4	9	7	10	7
E119	404,69	5	4	10	7	10	7
E120	373,68	5	4	9	7	10	7
E121	367,38	5	4	9	7	10	7
E122	421,66	6	4	10	7	10	7

E123	430,14	6	4	10	7	10	7
E124	397,30	5	4	9	7	10	7
E125	345,50	5	4	9	7	10	7
E126	446,81	6	4	10	7	10	7
E127	447,45	6	4	10	7	10	7
E128	367,68	5	4	9	7	10	7
E129	374,35	5	4	9	7	10	7
E130	401,32	5	4	10	7	10	7
E131	403,86	5	4	10	7	10	7
E132	387,36	5	4	9	7	10	7
E133	379,67	5	4	9	7	10	7
E134	347,48	5	4	9	7	10	7
E135	228,14	5	4	9	7	9	7
E136	236,41	5	4	9	7	9	7
E137	243,73	5	4	9	7	9	7
E138	220,07	5	4	9	7	9	7
E139	209,62	5	4	9	7	9	7
E140	196,09	5	4	9	7	9	7
E141	164,42	5	4	9	7	9	7
E142	166,72	5	4	9	7	9	7
E143	152,88	5	4	9	7	9	7
E144	143,22	5	4	9	7	9	7
E145	133,41	5	4	9	7	9	7
E146	145,19	5	4	9	7	9	7
E147	140,72	5	4	9	7	9	7
E148	132,77	5	4	9	7	9	7
E149	154,22	5	4	9	7	9	7
E150	182,72	5	4	9	7	9	7
E151	180,03	5	4	9	7	9	7
E152	205,18	5	4	9	7	9	7
E153	204,48	5	4	9	7	9	7
E154	211,91	5	4	9	7	9	7
E155	201,44	5	4	9	7	9	7
E156	228,46	5	4	9	7	9	7
E157	240,09	5	4	9	7	9	7
E158	294,14	5	4	9	7	9	7
E159	345,21	5	4	9	7	10	7
E160	387,43	5	4	9	7	10	7
E161	403,34	5	4	10	7	10	7
E162	373,52	5	4	9	7	10	7
E163	304,37	5	4	9	7	9	7
E164	272,60	5	4	9	7	9	7
E165	263,82	5	4	9	7	9	7
E166	214,45	5	4	9	7	9	7
E167	210,61	5	4	9	7	9	7

E168	198,16	5	4	9	7	9	7
E169	134,24	5	4	9	7	9	7
E170	93,52	5	4	9	7	9	7
E171	79,83	5	4	9	7	9	7
E172	104,34	5	4	9	7	9	7
E173	88,76	5	4	9	7	9	7
E174	77,04	5	4	9	7	9	7
E175	69,09	5	4	9	7	9	7
E176	54,57	5	4	9	7	9	7
E177	54,63	5	4	9	7	9	7
E178	61,11	5	4	9	7	9	7
E179	49,60	5	4	9	7	9	7
E180	38,42	5	4	9	7	9	7
E181	36,73	5	4	9	7	9	7
E182	18,65	5	4	9	7	9	7
E183	31,68	5	4	9	7	9	7
E184	36,13	5	4	9	7	9	7
E185	32,84	5	4	9	7	9	7
E186	29,90	5	4	9	7	9	7
E187	20,26	5	4	9	7	9	7
E188	27,92	5	4	9	7	9	7

LÍNEA DE TRANSMISIÓN SANTA ROSA - POMASQUI II A 230 kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	3085,76	10	7	17	12	17	13
E2	3077,69	10	7	17	12	17	13
E3	3056,74	10	7	17	12	17	13
E4	3003,70	10	7	17	12	17	12
E5	2983,42	10	7	17	12	17	12
E6	2975,68	10	7	17	12	17	12
E7	2937,12	10	7	17	12	17	12
E8	2930,33	10	7	17	12	17	12
E9	2889,47	9	7	16	12	17	12
E10	2890,08	9	7	16	12	17	12
E11	2830,02	9	7	16	12	16	12
E12	2788,51	9	7	16	12	16	12
E13	2750,36	9	7	16	12	16	12
E14	2698,99	9	7	16	12	16	12
E15	2687,88	9	7	16	12	16	12
E16	2654,58	9	7	16	12	16	12
E17	2710,11	9	7	16	12	16	12
E18	2762,14	9	7	16	12	16	12
E19	2789,13	9	7	16	12	16	12

E20	2825,10	9	7	16	12	16	12
E21	2883,22	9	7	16	12	17	12
E22	2872,23	9	7	16	12	17	12
E23	2811,61	9	7	16	12	16	12
E24	2876,55	9	7	16	12	17	12
E25	2899,30	10	7	16	12	17	12
E26	2864,80	9	7	16	12	17	12
E27	2817,13	9	7	16	12	16	12
E28	2792,81	9	7	16	12	16	12
E29	2882,65	9	7	16	12	17	12
E30	2941,52	10	7	17	12	17	12
E31	2898,07	10	7	16	12	17	12
E32	2884,05	9	7	16	12	17	12
E33	2867,33	9	7	16	12	17	12
E34	2854,37	9	7	16	12	17	12
E35	2865,74	9	7	16	12	17	12
E36	2857,55	9	7	16	12	17	12
E37	2839,94	9	7	16	12	17	12
E38	2853,25	9	7	16	12	17	12
E39	2842,97	9	7	16	12	17	12
E40	2828,63	9	7	16	12	16	12
E41	2825,59	9	7	16	12	16	12
E42	2854,48	9	7	16	12	17	12
E43	2849,69	9	7	16	12	17	12
E44	2847,65	9	7	16	12	17	12
E45	2833,45	9	7	16	12	16	12
E46	2843,33	9	7	16	12	17	12
E47	2872,50	9	7	16	12	17	12
E48	2878,07	9	7	16	12	17	12
E49	2877,78	9	7	16	12	17	12
E50	2813,84	9	7	16	12	16	12
E51	2877,61	9	7	16	12	17	12
E52	2939,09	10	7	17	12	17	12
E53	2938,22	10	7	17	12	17	12
E54	2953,45	10	7	17	12	17	12
E55	2934,72	10	7	17	12	17	12
E56	2953,47	10	7	17	12	17	12
E57	2943,08	10	7	17	12	17	12
E58	2937,85	10	7	17	12	17	12
E59	2963,46	10	7	17	12	17	12
E60	2958,81	10	7	17	12	17	12
E61	2917,19	10	7	16	12	17	12
E62	2894,18	9	7	16	12	17	12
E63	2872,75	9	7	16	12	17	12
E64	2852,44	9	7	16	12	17	12

E65	2866,02	9	7	16	12	17	12
E66	2826,23	9	7	16	12	16	12
E67	2806,69	9	7	16	12	16	12
E68	2809,87	9	7	16	12	16	12
E69	2802,88	9	7	16	12	16	12
E70	2779,84	9	7	16	12	16	12
E71	2772,94	9	7	16	12	16	12
E72	2754,78	9	7	16	12	16	12
E73	2745,95	9	7	16	12	16	12
E74	2732,82	9	7	16	12	16	12
E75	2731,33	9	7	16	12	16	12
E76	2712,44	9	7	16	12	16	12
E77	2692,40	9	7	16	12	16	12
E78	2693,90	9	7	16	12	16	12
E79	2693,11	9	7	16	12	16	12
E80	2701,34	9	7	16	12	16	12
E81	2731,72	9	7	16	12	16	12
E82	2787,39	9	7	16	12	16	12
E83	2812,99	9	7	16	12	16	12
E84	2820,96	9	7	16	12	16	12
E85	2830,79	9	7	16	12	16	12
E86	2830,82	9	7	16	12	16	12
E87	2824,44	9	7	16	12	16	12
E88	2826,38	9	7	16	12	16	12
E89	2810,99	9	7	16	12	16	12
E90	2802,20	9	7	16	12	16	12
E91	2789,20	9	7	16	12	16	12
E92	2786,51	9	7	16	12	16	12
E93	2768,83	9	7	16	12	16	12
E94	2746,15	9	7	16	12	16	12
E95	2689,46	9	7	16	12	16	12
E96	2650,38	9	7	16	12	16	12
E97	2627,72	9	7	16	12	16	12
E98	2597,08	9	7	16	12	16	12
E99	2581,54	9	7	16	12	16	12
E100	2558,32	9	7	16	12	16	12
E101	2576,83	9	7	16	12	16	12
E102	2571,41	9	7	16	12	16	12
E103	2545,10	9	7	16	12	16	12
E104	2550,46	9	7	16	12	16	12
E105	2521,26	9	7	16	12	16	12
E106	2517,16	9	7	16	12	16	12
E107	2487,73	9	7	16	12	16	12
E108	2460,86	9	7	16	12	16	12
E109	2465,33	9	7	16	12	16	12

E110	2474,63	9	7	16	12	16	12
E111	2470,20	9	7	16	12	16	12
E112	2462,74	9	7	16	12	16	12
E113	2447,89	9	7	16	12	16	12
E114	2432,97	9	7	16	12	16	12
E115	2416,40	9	7	16	11	16	12
E116	2393,93	9	7	15	11	16	12
E117	2370,71	9	7	15	11	16	12
E118	2353,94	9	7	15	11	16	12
E119	2264,28	9	7	15	11	15	11
E120	2275,38	9	7	15	11	15	11
E121	2307,28	9	7	15	11	15	11
E122	2287,73	9	7	15	11	15	11
E123	2262,32	9	7	15	11	15	11
E124	2237,15	9	6	15	11	15	11
E125	2279,17	9	7	15	11	15	11
E126	2257,30	9	7	15	11	15	11
E127	2301,39	9	7	15	11	15	11
E128	2299,38	9	7	15	11	15	11
E129	2315,78	9	7	15	11	15	11
E130	2263,13	9	7	15	11	15	11
E131	2218,97	9	6	15	11	15	11
E132	2317,19	9	7	15	11	15	11
E133	2349,00	9	7	15	11	16	12
E134	2384,06	9	7	15	11	16	12
E135	2350,35	9	7	15	11	16	12
E136	2353,05	9	7	15	11	16	12
E137	2365,04	9	7	15	11	16	12
E138	2341,66	9	7	15	11	16	12
E139	2355,56	9	7	15	11	16	12
E140	2298,58	9	7	15	11	15	11
E141	2310,14	9	7	15	11	15	11
E142	2374,89	9	7	15	11	16	12
E143	2414,53	9	7	16	11	16	12
E144	2462,11	9	7	16	12	16	12
E145	2514,08	9	7	16	12	16	12
E146	2550,80	9	7	16	12	16	12
E147	2583,53	9	7	16	12	16	12
E148	2597,01	9	7	16	12	16	12
E149	2594,64	9	7	16	12	16	12
E150	2520,57	9	7	16	12	16	12
E151	2530,82	9	7	16	12	16	12
E152	2695,82	9	7	16	12	16	12
E153	2716,09	9	7	16	12	16	12
E154	2758,61	9	7	16	12	16	12

E155	2814,90	9	7	16	12	16	12
E156	2827,58	9	7	16	12	16	12
E157	2837,39	9	7	16	12	17	12
E158	2836,94	9	7	16	12	17	12
E159	2837,52	9	7	16	12	17	12
E160	2831,04	9	7	16	12	16	12
E161	2821,77	9	7	16	12	16	12
E162	2809,14	9	7	16	12	16	12
E163	2802,79	9	7	16	12	16	12
E164	2821,09	9	7	16	12	16	12
E165	2822,65	9	7	16	12	16	12

LÍNEA DE TRANSMISIÓN CHONGÓN - SANTA ELENA A 230 kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	96,33	11	8	19	14	19	14
E2	88,85	11	8	19	14	19	14
E3	72,11	11	8	19	14	19	14
E4	57,59	11	8	19	14	19	14
E5	66,17	11	8	19	14	19	14
E6	73,97	11	8	19	14	19	14
E7	68,63	11	8	19	14	19	14
E8	79,96	11	8	19	14	19	14
E9	59,46	11	8	19	14	19	14
E10	79,23	11	8	19	14	19	14
E11	80,84	11	8	19	14	19	14
E12	76,46	11	8	19	14	19	14
E13	130,18	11	8	19	14	19	14
E14	93,96	11	8	19	14	19	14
E15	112,86	11	8	19	14	19	14
E16	89,07	11	8	19	14	19	14
E17	65,54	11	8	19	14	19	14
E18	53,25	11	8	19	14	19	14
E19	68,56	11	8	19	14	19	14
E20	60,84	11	8	19	14	19	14
E21	66,11	11	8	19	14	19	14
E22	67,28	11	8	19	14	19	14
E23	81,50	11	8	19	14	19	14
E24	83,01	11	8	19	14	19	14
E25	110,82	11	8	19	14	19	14
E26	136,58	11	8	19	14	19	14
E27	129,94	11	8	19	14	19	14
E28	108,01	11	8	19	14	19	14
E29	103,03	11	8	19	14	19	14

E30	137,13	11	8	19	14	20	14
E31	125,74	11	8	19	14	19	14
E32	136,85	11	8	19	14	20	14
E33	143,42	11	8	19	14	20	14
E34	140,17	11	8	19	14	20	14
E35	126,47	11	8	19	14	19	14
E36	122,12	11	8	19	14	19	14
E37	141,26	11	8	19	14	20	14
E38	145,02	11	8	19	14	20	14
E39	150,12	11	8	19	14	20	14
E40	152,02	11	8	19	14	20	14
E41	135,66	11	8	19	14	19	14
E42	118,81	11	8	19	14	19	14
E43	109,22	11	8	19	14	19	14
E44	122,18	11	8	19	14	19	14
E45	109,2	11	8	19	14	19	14
E46	110,05	11	8	19	14	19	14
E47	95,23	11	8	19	14	19	14
E48	106,45	11	8	19	14	19	14
E49	114,78	11	8	19	14	19	14
E50	119,76	11	8	19	14	19	14
E51	117,58	11	8	19	14	19	14
E52	127,99	11	8	19	14	19	14
E53	126,83	11	8	19	14	19	14
E54	126,68	11	8	19	14	19	14
E55	104,95	11	8	19	14	19	14
E56	104,27	11	8	19	14	19	14
E57	129,41	11	8	19	14	19	14
E58	137,82	11	8	19	14	20	14
E59	113,9	11	8	19	14	19	14
E60	135,45	11	8	19	14	19	14
E61	144,22	11	8	19	14	20	14
E62	111,69	11	8	19	14	19	14
E63	111,06	11	8	19	14	19	14
E64	112,62	11	8	19	14	19	14
E65	129,78	11	8	19	14	19	14
E66	139,58	11	8	19	14	20	14
E67	144,35	11	8	19	14	20	14
E68	136,03	11	8	19	14	19	14
E69	156,51	11	8	19	14	20	14
E70	171,2	11	8	19	14	20	15
E71	142,74	11	8	19	14	20	14
E72	186,88	11	8	19	14	20	15
E73	178,95	11	8	19	14	20	15
E74	164,74	11	8	19	14	20	14

E75	142,88	11	8	19	14	20	14
E76	140,63	11	8	19	14	20	14
E77	149,24	11	8	19	14	20	14
E78	155,84	11	8	19	14	20	14
E79	140,37	11	8	19	14	20	14
E80	150,24	11	8	19	14	20	14
E81	143,47	11	8	19	14	20	14
E82	123,17	11	8	19	14	19	14
E83	131,34	11	8	19	14	19	14
E84	115,98	11	8	19	14	19	14
E85	129,77	11	8	19	14	19	14
E86	135,74	11	8	19	14	19	14
E87	128,61	11	8	19	14	19	14
E88	123,78	11	8	19	14	19	14
E89	132,59	11	8	19	14	19	14
E90	111,52	11	8	19	14	19	14
E91	130,81	11	8	19	14	19	14
E92	141,05	11	8	19	14	20	14
E93	141,41	11	8	19	14	20	14
E94	106,97	11	8	19	14	19	14
E95	122,84	11	8	19	14	19	14
E96	114,59	11	8	19	14	19	14
E97	130,1	11	8	19	14	19	14
E98	133,75	11	8	19	14	19	14
E99	163,33	11	8	19	14	20	14
E100	106,5	11	8	19	14	19	14
E101	117,58	11	8	19	14	19	14
E102	128,35	11	8	19	14	19	14
E103	119,4	11	8	19	14	19	14
E104	147,8	11	8	19	14	20	14
E105	136,28	11	8	19	14	19	14
E106	140,66	11	8	19	14	20	14
E107	122,93	11	8	19	14	19	14
E108	133,84	11	8	19	14	19	14
E109	157,67	11	8	19	14	20	14
E110	115,24	11	8	19	14	19	14
E111	119,67	11	8	19	14	19	14
E112	104,48	11	8	19	14	19	14
E113	102,87	11	8	19	14	19	14
E114	84,79	11	8	19	14	19	14
E115	84,71	11	8	19	14	19	14
E116	80,87	11	8	19	14	19	14
E117	81,16	11	8	19	14	19	14
E118	78,02	11	8	19	14	19	14
E119	61,82	11	8	19	14	19	14

E120	68,24	11	8	19	14	19	14
E121	69,76	11	8	19	14	19	14
E122	73,84	11	8	19	14	19	14
E123	77,37	11	8	19	14	19	14
E124	76,63	11	8	19	14	19	14
E125	89,14	11	8	19	14	19	14
E126	134,73	11	8	19	14	19	14
E127	97,87	11	8	19	14	19	14
E128	73,41	11	8	19	14	19	14
E129	48,33	11	8	19	14	19	14
E130	27,57	11	8	19	14	19	14
E131	29,51	11	8	19	14	19	14
E132	45,11	11	8	19	14	19	14
E133	33,83	11	8	19	14	19	14
E134	38,11	11	8	19	14	19	14
E135	60,29	11	8	19	14	19	14
E136	79,62	11	8	19	14	19	14
E137	78,42	11	8	19	14	19	14
E138	100,6	11	8	19	14	19	14
E139	112,02	11	8	19	14	19	14
E140	108,16	11	8	19	14	19	14
E141	96,87	11	8	19	14	19	14
E142	105,98	11	8	19	14	19	14
E143	98,76	11	8	19	14	19	14
E144	92,65	11	8	19	14	19	14
E145	97,24	11	8	19	14	19	14
E146	97,27	11	8	19	14	19	14
E147	103,44	11	8	19	14	19	14
E148	99,58	11	8	19	14	19	14
E149	98,01	11	8	19	14	19	14
E150	101,24	11	8	19	14	19	14
E151	94,77	11	8	19	14	19	14
E152	101,53	11	8	19	14	19	14
E153	97,31	11	8	19	14	19	14
E154	92,78	11	8	19	14	19	14
E155	87,62	11	8	19	14	19	14
E156	93,72	11	8	19	14	19	14
E157	96,49	11	8	19	14	19	14
E158	86,26	11	8	19	14	19	14
E159	82,21	11	8	19	14	19	14
E160	78,59	11	8	19	14	19	14
E161	80,34	11	8	19	14	19	14
E162	71,56	11	8	19	14	19	14
E163	74,34	11	8	19	14	19	14
E164	70,89	11	8	19	14	19	14

E165	72,1	11	8	19	14	19	14
E166	73,01	11	8	19	14	19	14
E167	71,83	11	8	19	14	19	14
E168	69,37	11	8	19	14	19	14
E169	65,24	11	8	19	14	19	14
E170	65,05	11	8	19	14	19	14
E171	58,6	11	8	19	14	19	14
E172	55,56	11	8	19	14	19	14
E173	57,66	11	8	19	14	19	14
E174	58,67	11	8	19	14	19	14
E175	58,23	11	8	19	14	19	14
E176	51,59	11	8	19	14	19	14
E177	54,83	11	8	19	14	19	14
E178	41,71	11	8	19	14	19	14
E179	35,6	11	8	19	14	19	14
E180	31,81	11	8	19	14	19	14
E181	29,34	11	8	19	14	19	14
E182	28,06	11	8	19	14	19	14
E183	22,4	11	8	19	14	19	14
E184	25,66	11	8	19	14	19	14
E185	23,55	11	8	19	14	19	14
E186	22,06	11	8	19	14	19	14
E187	19,09	11	8	19	14	19	14
E188	19,79	11	8	19	14	19	14
E189	31,39	11	8	19	14	19	14
E190	64,61	11	8	19	14	19	14
E191	69,74	11	8	19	14	19	14
E192	70,49	11	8	19	14	19	14
E193	49,95	11	8	19	14	19	14
E194	46,18	11	8	19	14	19	14
E195	42,25	11	8	19	14	19	14
E196	50,27	11	8	19	14	19	14
E197	48,76	11	8	19	14	19	14
E198	45,23	11	8	19	14	19	14
E199	37,28	11	8	19	14	19	14

LÍNEA DE TRANSMISIÓN SAN RAFAEL - EL INGA A 500kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	1781,00	18	11	31	20	32	20
E2	1782,12	18	11	31	20	32	20
E3	1761,91	18	11	31	20	31	20
E4	1757,31	18	11	31	20	31	20
E5	1718,65	18	11	31	20	31	20

E6	1717,99	18	11	31	20	31	20
E7	1701,40	18	11	31	20	31	20
E8	1703,03	18	11	31	20	31	20
E9	1686,40	18	11	31	20	31	20
E10	1693,73	18	11	31	20	31	20
E11	1692,73	18	11	31	20	31	20
E12	1698,94	18	11	31	20	31	20
E13	1725,45	18	11	31	20	31	20
E14	1768,05	18	11	31	20	31	20
E15	1767,44	18	11	31	20	31	20
E16	1801,32	18	11	31	20	32	20
E17	1829,70	18	11	31	20	32	20
E18	1824,05	18	11	31	20	32	20
E19	1843,94	18	12	31	20	32	20
E20	1845,17	18	12	31	20	32	20
E21	1837,06	18	11	31	20	32	20
E22	1840,04	18	12	31	20	32	20
E23	1841,36	18	12	31	20	32	20
E24	1798,06	18	11	31	20	32	20
E25	1788,64	18	11	31	20	32	20
E26	1797,25	18	11	31	20	32	20
E27	1795,60	18	11	31	20	32	20
E28	1818,56	18	11	31	20	32	20
E29	1847,99	18	12	31	20	32	20
E30	1910,77	18	12	32	20	32	20
E31	1954,12	18	12	32	20	32	20
E32	1963,13	18	12	32	20	32	20
E33	1934,34	18	12	32	20	32	20
E34	1839,40	18	12	31	20	32	20
E35	1824,78	18	11	31	20	32	20
E36	1815,06	18	11	31	20	32	20
E37	1819,85	18	11	31	20	32	20
E38	1780,49	18	11	31	20	32	20
E39	1767,62	18	11	31	20	31	20
E40	1744,20	18	11	31	20	31	20
E41	1779,19	18	11	31	20	32	20
E42	1798,47	18	11	31	20	32	20
E43	1812,31	18	11	31	20	32	20
E44	1823,82	18	11	31	20	32	20
E45	1870,70	18	12	32	20	32	20
E46	1970,97	18	12	32	20	32	20
E47	2019,24	19	12	32	20	32	21
E48	2039,49	19	12	32	20	33	21
E49	2015,98	19	12	32	20	32	21
E50	2011,01	19	12	32	20	32	21

E51	2049,02	19	12	32	20	33	21
E52	2047,99	19	12	32	20	33	21
E53	2020,27	19	12	32	20	32	21
E54	1802,31	18	11	31	20	32	20
E55	1676,62	18	11	31	20	31	20
E56	1407,35	17	11	30	19	30	19
E57	1359,46	17	11	30	19	30	19
E58	1469,94	17	11	30	19	30	19
E59	1513,75	17	11	30	19	31	19
E60	1755,46	18	11	31	20	31	20
E61	1829,89	18	11	31	20	32	20
E62	1807,44	18	11	31	20	32	20
E63	1719,00	18	11	31	20	31	20
E64	1641,53	18	11	31	19	31	20
E65	1646,34	18	11	31	19	31	20
E66	1716,04	18	11	31	20	31	20
E67	1654,77	18	11	31	19	31	20
E68	1622,66	18	11	31	19	31	20
E69	1632,17	18	11	31	19	31	20
E70	1675,50	18	11	31	20	31	20
E71	1661,35	18	11	31	19	31	20
E72	1675,03	18	11	31	20	31	20
E73	1720,91	18	11	31	20	31	20
E74	1681,76	18	11	31	20	31	20
E75	1706,74	18	11	31	20	31	20
E76	1694,89	18	11	31	20	31	20
E77	1688,89	18	11	31	20	31	20
E78	1739,76	18	11	31	20	31	20
E79	1757,65	18	11	31	20	31	20
E80	1778,70	18	11	31	20	32	20
E81	1826,47	18	11	31	20	32	20
E82	1849,99	18	12	31	20	32	20
E83	1850,99	18	12	31	20	32	20
E84	1967,09	18	12	32	20	32	20
E85	1991,15	18	12	32	20	32	21
E86	1968,12	18	12	32	20	32	20
E87	1813,78	18	11	31	20	32	20
E88	1741,51	18	11	31	20	31	20
E89	1743,88	18	11	31	20	31	20
E90	1765,46	18	11	31	20	31	20
E91	1723,81	18	11	31	20	31	20
E92	1728,90	18	11	31	20	31	20
E93	1757,32	18	11	31	20	31	20
E94	1721,98	18	11	31	20	31	20
E95	1687,05	18	11	31	20	31	20

E96	1621,03	18	11	31	19	31	20
E97	1582,31	18	11	30	19	31	20
E98	1600,40	18	11	31	19	31	20
E99	1543,39	18	11	30	19	31	19
E100	1518,51	17	11	30	19	31	19
E101	1530,47	17	11	30	19	31	19
E102	1568,80	18	11	30	19	31	19
E103	1626,16	18	11	31	19	31	20
E104	1575,31	18	11	30	19	31	19
E105	1558,19	18	11	30	19	31	19
E106	1604,42	18	11	31	19	31	20
E107	1654,36	18	11	31	19	31	20
E108	1663,70	18	11	31	19	31	20
E109	1709,28	18	11	31	20	31	20
E110	1777,78	18	11	31	20	32	20
E111	1731,05	18	11	31	20	31	20
E112	1712,33	18	11	31	20	31	20
E113	1696,32	18	11	31	20	31	20
E114	1661,51	18	11	31	19	31	20
E115	1712,98	18	11	31	20	31	20
E116	1708,75	18	11	31	20	31	20
E117	1690,55	18	11	31	20	31	20
E118	1692,84	18	11	31	20	31	20
E119	1791,05	18	11	31	20	32	20
E120	1807,51	18	11	31	20	32	20
E121	1759,63	18	11	31	20	31	20
E122	1662,37	18	11	31	19	31	20
E123	1625,16	18	11	31	19	31	20
E124	1711,19	18	11	31	20	31	20
E125	1784,26	18	11	31	20	32	20
E126	1818,14	18	11	31	20	32	20
E127	1785,29	18	11	31	20	32	20
E128	1794,43	18	11	31	20	32	20
E129	1768,53	18	11	31	20	31	20
E130	1794,11	18	11	31	20	32	20
E131	1808,16	18	11	31	20	32	20
E132	1822,45	18	11	31	20	32	20
E133	1894,79	18	12	32	20	32	20
E134	1870,40	18	12	32	20	32	20
E135	1943,12	18	12	32	20	32	20
E136	1903,90	18	12	32	20	32	20
E137	1980,10	18	12	32	20	32	20
E138	2053,60	19	12	32	20	33	21
E139	2041,60	19	12	32	20	33	21
E140	2022,90	19	12	32	20	32	21

E141	2129,30	19	12	33	21	33	21
E142	2116,10	19	12	33	21	33	21
E143	1960,60	18	12	32	20	32	20
E144	1955,90	18	12	32	20	32	20
E145	1976,00	18	12	32	20	32	20
E146	2021,50	19	12	32	20	32	21
E147	2039,80	19	12	32	20	33	21
E148	2080,80	19	12	32	21	33	21
E149	2124,10	19	12	33	21	33	21
E150	2093,10	19	12	32	21	33	21
E151	2128,80	19	12	33	21	33	21
E152	2144,30	19	12	33	21	33	21
E153	2192,10	19	12	33	21	33	21
E154	2233,30	19	12	33	21	33	21
E155	2276,50	19	12	33	21	34	21
E156	2424,30	19	12	34	21	34	22
E157	2501,10	20	12	34	22	34	22
E158	2322,00	19	12	33	21	34	21
E159	2335,50	19	12	33	21	34	21
E160	2368,00	19	12	34	21	34	21
E161	2400,60	19	12	34	21	34	22
E162	2409,10	19	12	34	21	34	22
E163	2402,10	19	12	34	21	34	22
E164	2381,60	19	12	34	21	34	22
E165	2396,10	19	12	34	21	34	22
E166	2409,30	19	12	34	21	34	22
E167	2422,00	19	12	34	21	34	22
E168	2451,89	20	12	34	21	34	22
E169	2473,61	20	12	34	22	34	22
E170	2501,49	20	12	34	22	34	22
E171	2534,68	20	13	34	22	35	22
E172	2554,57	20	13	34	22	35	22
E173	2584,36	20	13	34	22	35	22
E174	2604,54	20	13	35	22	35	22
E175	2622,73	20	13	35	22	35	22
E176	2625,08	20	13	35	22	35	22
E177	2612,51	20	13	35	22	35	22
E178	2605,20	20	13	35	22	35	22
E179	2606,57	20	13	35	22	35	22
E180	2580,22	20	13	34	22	35	22
E181	2509,70	20	12	34	22	34	22
E182	2404,05	19	12	34	21	34	22
E183	2726,62	20	13	35	22	35	22
E184	2756,30	20	13	35	22	36	23
E185	2695,80	20	13	35	22	35	22

E186	2763,10	20	13	35	22	36	23
E187	2863,80	21	13	36	23	36	23
E188	3054,00	21	13	36	23	37	23
E189	3268,10	22	14	37	24	38	24
E190	3265,80	22	14	37	24	38	24
E191	3276,10	22	14	37	24	38	24
E192	3311,50	22	14	38	24	38	24
E193	3308,10	22	14	38	24	38	24
E194	3153,80	21	14	37	23	37	24
E195	3157,30	21	14	37	23	37	24
E196	3243,80	22	14	37	24	38	24
E197	3410,60	22	14	38	24	38	24
E198	3409,60	22	14	38	24	38	24
E199	3376,10	22	14	38	24	38	24
E200	3315,50	22	14	38	24	38	24
E201	3397,30	22	14	38	24	38	24
E202	3531,10	22	14	39	24	39	25
E203	3503,60	22	14	39	24	39	25
E204	3566,80	22	14	39	25	39	25
E205	3655,50	23	14	39	25	40	25
E206	3565,20	22	14	39	25	39	25
E207	3500,40	22	14	38	24	39	25
E208	3414,40	22	14	38	24	39	24
E209	3657,50	23	14	39	25	40	25
E210	3725,90	23	14	40	25	40	25
E211	3799,20	23	15	40	25	40	26
E212	3868,20	23	15	40	26	41	26
E213	3755,20	23	15	40	25	40	25
E214	3664,30	23	14	39	25	40	25
E215	3615,90	23	14	39	25	39	25
E216	3575,10	22	14	39	25	39	25
E217	3539,40	22	14	39	25	39	25
E218	3675,40	23	14	39	25	40	25
E219	3787,00	23	15	40	25	40	26
E220	3734,10	23	14	40	25	40	25
E221	3801,30	23	15	40	25	40	26
E222	3828,80	23	15	40	25	41	26
E223	3816,00	23	15	40	25	40	26
E224	3856,80	23	15	40	25	41	26
E225	3908,80	23	15	40	26	41	26
E226	3925,30	23	15	41	26	41	26
E227	4136,70	24	15	42	26	42	27
E228	4175,90	24	15	42	26	42	27
E229	4063,10	24	15	41	26	42	26
E230	4003,90	24	15	41	26	41	26

E231	3975,30	24	15	41	26	41	26
E232	4046,20	24	15	41	26	42	26
E233	4217,90	24	15	42	27	42	27
E234	4174,00	24	15	42	26	42	27
E235	4205,00	24	15	42	27	42	27
E236	4154,60	24	15	42	26	42	27
E237	4159,20	24	15	42	26	42	27
E238	4186,60	24	15	42	27	42	27
E239	4152,90	24	15	42	26	42	27
E240	4213,20	24	15	42	27	42	27
E241	4167,20	24	15	42	26	42	27
E242	4083,40	24	15	41	26	42	26
E243	3992,00	24	15	41	26	41	26
E244	3932,30	23	15	41	26	41	26
E245	3844,60	23	15	40	25	41	26
E246	3746,10	23	15	40	25	40	25
E247	3647,10	23	14	39	25	40	25
E248	3568,80	22	14	39	25	39	25
E249	3460,00	22	14	38	24	39	25
E250	3399,60	22	14	38	24	38	24
E251	3359,00	22	14	38	24	38	24
E252	3294,00	22	14	38	24	38	24
E253	3179,00	21	14	37	23	37	24
E254	3117,97	21	13	37	23	37	24
E255	3101,01	21	13	37	23	37	23
E256	3081,04	21	13	37	23	37	23
E257	2997,33	21	13	36	23	37	23
E258	2945,24	21	13	36	23	36	23
E259	2889,48	21	13	36	23	36	23
E260	2852,12	21	13	36	23	36	23
E261	2858,48	21	13	36	23	36	23
E262	2851,60	21	13	36	23	36	23
E263	2828,61	20	13	35	22	36	23
E264	2832,30	20	13	35	22	36	23

LÍNEA DE TRANSMISIÓN SAN TISALEO - CHORRILLOS A 500kV							
Estructura	Cota (msnm)	IEC		IEEE		EPRI	
		Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG	Aisladores Estándar	Aisladores FOG
E1	3339,77	23	14	39	25	40	25
E2	3357,80	23	14	40	25	40	25
E3	3398,50	23	15	40	25	40	25
E4	3441,30	23	15	40	25	40	26
E5	3498,30	23	15	40	25	41	26
E6	3521,40	23	15	40	26	41	26

E7	3561,40	23	15	41	26	41	26
E8	3676,60	24	15	41	26	42	26
E9	3678,10	24	15	41	26	42	26
E10	3650,80	24	15	41	26	41	26
E11	3733,60	24	15	41	26	42	27
E12	3703,10	24	15	41	26	42	26
E13	3683,90	24	15	41	26	42	26
E14	3692,80	24	15	41	26	42	26
E15	3748,50	24	15	41	26	42	27
E16	3756,00	24	15	42	26	42	27
E17	3830,40	24	15	42	27	42	27
E18	3805,27	24	15	42	26	42	27
E19	3768,40	24	15	42	26	42	27
E20	3679,00	24	15	41	26	42	26
E21	3814,50	24	15	42	27	42	27
E22	3682,90	24	15	41	26	42	26
E23	3682,5	24	15	41	26	42	26
E24	3612,9	24	15	41	26	41	26
E25	3548,2	23	15	40	26	41	26
E26	3543,5	23	15	40	26	41	26
E27	3524,8	23	15	40	26	41	26
E28	3542,7	23	15	40	26	41	26
E29	3549,9	23	15	40	26	41	26
E30	3568,5	23	15	41	26	41	26
E31	3588,3	24	15	41	26	41	26
E32	3601,9	24	15	41	26	41	26
E33	3637,2	24	15	41	26	41	26
E34	3695,6	24	15	41	26	42	26
E35	3721,6	24	15	41	26	42	26
E36	3765,5	24	15	42	26	42	27
E37	3740,7	24	15	41	26	42	27
E38	3705,8	24	15	41	26	42	26
E39	3702,1	24	15	41	26	42	26
E40	3754,7	24	15	42	26	42	27
E41	3768	24	15	42	26	42	27
E42	3771,2	24	15	42	26	42	27
E43	3790,8	24	15	42	26	42	27
E44	3829,4	24	15	42	27	42	27
E45	3867,8	24	15	42	27	43	27
E46	3829,4	24	15	42	27	42	27
E47	3839,5	24	15	42	27	42	27
E48	3798,8	24	15	42	26	42	27
E49	3802,5	24	15	42	26	42	27
E50	3841,8	24	15	42	27	42	27
E51	3831,1	24	15	42	27	42	27

E52	3783,4	24	15	42	26	42	27
E53	3761,2	24	15	42	26	42	27
E54	3711	24	15	41	26	42	26
E55	3651,3	24	15	41	26	41	26
E56	3645	24	15	41	26	41	26
E57	3665	24	15	41	26	42	26
E58	3610,2	24	15	41	26	41	26
E59	3594,8	24	15	41	26	41	26
E60	3647	24	15	41	26	41	26
E61	3643,2	24	15	41	26	41	26
E62	3622,3	24	15	41	26	41	26
E63	3602,2	24	15	41	26	41	26
E64	3676,7	24	15	41	26	42	26
E65	3767,2	24	15	42	26	42	27
E66	3912,3	24	15	42	27	43	27
E67	3947,5	25	16	43	27	43	27
E68	4064,8	25	16	43	27	44	28
E69	4018,6	25	16	43	27	43	27
E70	4107,2	25	16	43	27	44	28
E71	4148,4	25	16	44	28	44	28
E72	4123	25	16	43	28	44	28
E73	4100	25	16	43	27	44	28
E74	4168,7	25	16	44	28	44	28
E75	4155,4	25	16	44	28	44	28
E76	4107,9	25	16	43	27	44	28
E77	4009,6	25	16	43	27	43	27
E78	3997,1	25	16	43	27	43	27
E79	3967,3	25	16	43	27	43	27
E80	3919,7	24	16	42	27	43	27
E81	3789	24	15	42	26	42	27
E82	3987,4	25	16	43	27	43	27
E83	4076,3	25	16	43	27	44	28
E84	4123,2	25	16	43	28	44	28
E85	4158,6	25	16	44	28	44	28
E86	4174,7	25	16	44	28	44	28
E87	4231,5	25	16	44	28	44	28
E88	4253	25	16	44	28	45	28
E89	4137,9	25	16	44	28	44	28
E90	4239,1	25	16	44	28	45	28
E91	4154,8	25	16	44	28	44	28
E92	4241,7	25	16	44	28	45	28
E93	4170,8	25	16	44	28	44	28
E94	4111,8	25	16	43	27	44	28
E95	4073,3	25	16	43	27	44	28
E96	4031,1	25	16	43	27	43	28

E97	3936,1	25	16	42	27	43	27
E98	3869,3	24	15	42	27	43	27
E99	3685,4	24	15	41	26	42	26
E100	3604,5	24	15	41	26	41	26
E101	3386,4	23	15	40	25	40	25
E102	3306,6	23	14	39	25	40	25
E103	3253,8	23	14	39	25	39	25
E104	3461,8	23	15	40	25	40	26
E105	3478,5	23	15	40	25	41	26
E106	3451,6	23	15	40	25	40	26
E107	3431,1	23	15	40	25	40	26
E108	3396,1	23	15	40	25	40	25
E109	3322	23	14	39	25	40	25
E110	3175,8	22	14	39	25	39	25
E111	3060	22	14	38	24	39	24
E112	2882,6	22	14	37	24	38	24
E113	2829,7	21	14	37	23	37	24
E114	2784,2	21	13	37	23	37	24
E115	2745	21	13	37	23	37	24
E116	2728,5	21	13	37	23	37	23
E117	2672,6	21	13	36	23	37	23
E118	2682	21	13	36	23	37	23
E119	2691,3	21	13	36	23	37	23
E120	2750,2	21	13	37	23	37	24
E121	2880,3	22	14	37	24	38	24
E122	2886,8	22	14	37	24	38	24
E123	2903,9	22	14	37	24	38	24
E124	2863,7	22	14	37	24	38	24
E125	2908,3	22	14	37	24	38	24
E126	2957,8	22	14	38	24	38	24
E127	2986,2	22	14	38	24	38	24
E128	3030,1	22	14	38	24	38	24
E129	3039,6	22	14	38	24	38	24
E130	3070	22	14	38	24	39	24
E131	3046,7	22	14	38	24	38	24
E132	3020,2	22	14	38	24	38	24
E133	3031,9	22	14	38	24	38	24
E134	2930,8	22	14	38	24	38	24
E135	2804,2	21	14	37	23	37	24
E136	2570,7	21	13	36	23	36	23
E137	2466,5	20	13	35	22	36	23
E138	2541,6	21	13	36	23	36	23
E139	2594,9	21	13	36	23	36	23
E140	2516,1	21	13	36	23	36	23
E141	2550,6	21	13	36	23	36	23

E142	2467,5	20	13	35	22	36	23
E143	2439,7	20	13	35	22	36	23
E144	2380,4	20	13	35	22	35	22
E145	2231,3	20	13	34	22	35	22
E146	2202,7	20	13	34	22	35	22
E147	1920,4	19	12	33	21	34	21
E148	1808,704	19	12	33	21	33	21
E149	1743,8	19	12	32	21	33	21
E150	1598,5	18	12	32	20	32	20
E151	1409,691	18	11	31	20	32	20
E152	1382,8	18	11	31	20	31	20
E153	1276,4	18	11	31	19	31	20
E154	1210,9	18	11	30	19	31	19
E155	1119,1	17	11	30	19	30	19
E156	1218,4	18	11	30	19	31	20
E157	1272	18	11	31	19	31	20
E158	1316,5	18	11	31	20	31	20
E159	1465,2	18	11	31	20	32	20
E160	1624,2	18	12	32	20	32	21
E161	1706,6	19	12	32	20	33	21
E162	1681,3	19	12	32	20	33	21
E163	1709,9	19	12	32	20	33	21
E164	1923,1	19	12	33	21	34	21
E165	1977,1	19	12	33	21	34	21
E166	1894,8	19	12	33	21	33	21
E167	1791,7	19	12	33	21	33	21
E168	1595,3	18	12	32	20	32	20
E169	1529,2	18	12	32	20	32	20
E170	1489,2	18	12	31	20	32	20
E171	1372	18	11	31	20	31	20
E172	1205,3	18	11	30	19	31	19
E173	1146,8	17	11	30	19	31	19
E174	1067,4	17	11	30	19	30	19
E175	1072,5	17	11	30	19	30	19
E176	979,5	17	11	30	19	30	19
E177	997	17	11	30	19	30	19
E178	1054,369	17	11	30	19	30	19
E179	1063,1	17	11	30	19	30	19
E180	935,3	17	11	29	19	30	19
E181	889,2	17	11	29	19	30	19
E182	752	17	11	29	18	29	18
E183	598,5	16	10	28	18	29	18
E184	729,1	17	11	29	18	29	18
E185	648,1	16	10	28	18	29	18
E186	512,2	16	10	28	18	28	18

E187	460,7	16	10	28	18	28	18
E188	345,7	16	10	27	17	28	18
E189	338	16	10	27	17	28	18
E190	331,8	16	10	27	17	28	18
E191	313,1	16	10	27	17	28	17
E192	281,7	16	10	27	17	27	17
E193	284,3	16	10	27	17	27	17
E194	255,3	16	10	27	17	27	17
E195	187,5	16	10	27	17	27	17
E196	136,4	15	10	27	17	27	17
E197	142,6	15	10	27	17	27	17
E198	155,2	15	10	27	17	27	17
E199	150,3	15	10	27	17	27	17
E200	135,7	15	10	27	17	27	17
E201	106,3	15	10	27	17	27	17
E202	95,4	15	10	27	17	27	17
E203	82,6	15	10	27	17	27	17
E204	75,5	15	10	26	17	27	17
E205	69,5	15	10	26	17	27	17
E206	65,5	15	10	26	17	27	17
E207	59,4	15	10	26	17	27	17
E208	51,6	15	10	26	17	27	17
E209	45,3	15	10	26	17	27	17
E210	36,9	15	10	26	17	27	17
E211	32,7	15	10	26	17	27	17
E212	24,6	15	10	26	17	27	17
E213	24	15	10	26	17	27	17
E214	21,2	15	10	26	17	27	17
E215	20,5	15	10	26	17	27	17
E216	18,7	15	10	26	17	27	17
E217	18,5	15	10	26	17	27	17
E218	17,8	15	10	26	17	27	17
E219	17	15	10	26	17	27	17
E220	15,8	15	10	26	17	27	17
E221	15	15	10	26	17	27	17
E222	13,1	15	10	26	17	27	17
E223	12	15	10	26	17	27	17
E224	10,8	15	10	26	17	27	17
E225	9,1	15	10	26	17	27	17
E226	9,3	15	10	26	17	27	17
E227	9,1	15	10	26	17	27	17
E228	9,1	15	10	26	17	27	17
E229	9	15	10	26	17	27	17
E230	8,6	15	10	26	17	27	17
E231	8,5	15	10	26	17	27	17

E232	8,1	15	10	26	17	27	17
E233	8,3	15	10	26	17	27	17
E234	7,9	15	10	26	17	27	17
E235	7,9	15	10	26	17	27	17
E236	7,8	15	10	26	17	27	17
E237	7,8	15	10	26	17	27	17
E238	7	15	10	26	17	27	17
E239	7,2	15	10	26	17	27	17
E240	7,4	15	10	26	17	27	17
E241	7,9	15	10	26	17	27	17
E242	7,3	15	10	26	17	27	17
E243	6,8	15	10	26	17	27	17
E244	7,3	15	10	26	17	27	17
E245	7,3	15	10	26	17	27	17
E246	7,7	15	10	26	17	27	17
E247	7,3	15	10	26	17	27	17
E248	7,7	15	10	26	17	27	17
E249	8,3	15	10	26	17	27	17
E250	7,8	15	10	26	17	27	17
E251	6,7	15	10	26	17	27	17
E252	6,4	15	10	26	17	27	17
E253	5,8	15	10	26	17	27	17
E254	6,9	15	10	26	17	27	17
E255	6,7	15	10	26	17	27	17
E256	6,4	15	10	26	17	27	17
E257	5,8	15	10	26	17	27	17
E258	5,9	15	10	26	17	27	17
E259	5,8	15	10	26	17	27	17
E260	4,4	15	10	26	17	27	17
E261	3,5	15	10	26	17	27	17
E262	4,9	15	10	26	17	27	17
E263	4,4	15	10	26	17	27	17
E264	4,9	15	10	26	17	27	17
E265	6,9	15	10	26	17	27	17
E266	6,7	15	10	26	17	27	17
E267	5,8	15	10	26	17	27	17
E268	5,2	15	10	26	17	27	17
E269	5,3	15	10	26	17	27	17
E270	6,9	15	10	26	17	27	17
E271	5,5	15	10	26	17	27	17
E272	3,9	15	10	26	17	27	17
E273	4,3	15	10	26	17	27	17
E274	4,7	15	10	26	17	27	17
E275	4,7	15	10	26	17	27	17
E276	4,3	15	10	26	17	27	17

E277	4,9	15	10	26	17	27	17
E278	5,3	15	10	26	17	27	17
E279	4,9	15	10	26	17	27	17
E280	3,4	15	10	26	17	27	17
E281	3,7	15	10	26	17	27	17
E282	3,4	15	10	26	17	27	17
E283	3,7	15	10	26	17	27	17
E284	4,2	15	10	26	17	27	17
E285	3,9	15	10	26	17	27	17
E286	3,7	15	10	26	17	27	17
E287	3,4	15	10	26	17	27	17
E288	3,5	15	10	26	17	27	17
E289	3,7	15	10	26	17	27	17
E290	3,4	15	10	26	17	27	17
E291	3,2	15	10	26	17	27	17
E292	3,4	15	10	26	17	27	17
E293	2,7	15	10	26	17	27	17
E294	2,9	15	10	26	17	27	17
E295	2,9	15	10	26	17	27	17
E296	2,9	15	10	26	17	27	17
E297	3,2	15	10	26	17	27	17
E298	3,5	15	10	26	17	27	17
E299	3,5	15	10	26	17	27	17
E300	2,9	15	10	26	17	27	17
E301	2,4	15	10	26	17	27	17
E302	4,1	15	10	26	17	27	17
E303	4	15	10	26	17	27	17
E304	3	15	10	26	17	27	17
E305	3	15	10	26	17	27	17
E306	3,4	15	10	26	17	27	17
E307	3,825	15	10	26	17	27	17
E308	3,7	15	10	26	17	27	17
E309	4,417	15	10	26	17	27	17
E310	4,6	15	10	26	17	27	17
E311	4,8	15	10	26	17	27	17
E312	5,3	15	10	26	17	27	17
E313	3,7	15	10	26	17	27	17
E314	4	15	10	26	17	27	17
E315	3,9	15	10	26	17	27	17
E316	3,4	15	10	26	17	27	17
E317	3,2	15	10	26	17	27	17
E318	3,4	15	10	26	17	27	17
E319	2,5	15	10	26	17	27	17
E320	2,5	15	10	26	17	27	17
E321	2,7	15	10	26	17	27	17

E322	2,9	15	10	26	17	27	17
E323	102,5	15	10	27	17	27	17
E324	181,1	15	10	27	17	27	17
E325	137,1	15	10	27	17	27	17
E326	3,211	15	10	26	17	27	17
E327	2,7	15	10	26	17	27	17
E328	2,4	15	10	26	17	27	17
E329	2,7	15	10	26	17	27	17
E330	3	15	10	26	17	27	17
E331	2,9	15	10	26	17	27	17
E332	3	15	10	26	17	27	17
E333	2,9	15	10	26	17	27	17
E334	3	15	10	26	17	27	17
E335	2,9	15	10	26	17	27	17
E336	2,9	15	10	26	17	27	17
E337	2,7	15	10	26	17	27	17
E338	2,4	15	10	26	17	27	17
E339	2,5	15	10	26	17	27	17
E340	2,9	15	10	26	17	27	17
E341	2,2	15	10	26	17	27	17
E342	2,9	15	10	26	17	27	17
E343	2,4	15	10	26	17	27	17
E344	2	15	10	26	17	27	17
E345	2,2	15	10	26	17	27	17
E346	2,2	15	10	26	17	27	17
E347	2,2	15	10	26	17	27	17
E348	2	15	10	26	17	27	17
E349	2,7	15	10	26	17	27	17
E350	3	15	10	26	17	27	17
E351	3	15	10	26	17	27	17
E352	2,2	15	10	26	17	27	17
E353	3,9	15	10	26	17	27	17
E354	4,3	15	10	26	17	27	17
E355	3,7	15	10	26	17	27	17
E356	3,4	15	10	26	17	27	17
E357	3,4	15	10	26	17	27	17
E358	3,9	15	10	26	17	27	17
E359	3,7	15	10	26	17	27	17
E360	3,7	15	10	26	17	27	17
E361	3,9	15	10	26	17	27	17
E362	3,7	15	10	26	17	27	17
E363	4,3	15	10	26	17	27	17
E364	3,7	15	10	26	17	27	17
E365	3,5	15	10	26	17	27	17
E366	3,2	15	10	26	17	27	17

E367	3,4	15	10	26	17	27	17
E368	3,4	15	10	26	17	27	17
E369	4,3	15	10	26	17	27	17
E370	4,2	15	10	26	17	27	17
E371	3,855	15	10	26	17	27	17
E372	4,64	15	10	26	17	27	17
E373	3,7	15	10	26	17	27	17
E374	3,5	15	10	26	17	27	17
E375	4,5	15	10	26	17	27	17
E376	4,4	15	10	26	17	27	17
E377	4,2	15	10	26	17	27	17
E378	4,59	15	10	26	17	27	17
E379	4,7	15	10	26	17	27	17
E380	4,4	15	10	26	17	27	17
E381	5,3	15	10	26	17	27	17
E382	4,9	15	10	26	17	27	17
E383	4,4	15	10	26	17	27	17
E384	4,2	15	10	26	17	27	17
E385	2,9	15	10	26	17	27	17
E386	3,4	15	10	26	17	27	17
E387	3	15	10	26	17	27	17
E388	2,9	15	10	26	17	27	17
E389	4,4	15	10	26	17	27	17
E390	56,2	15	10	26	17	27	17
E391	87,4	15	10	27	17	27	17
E392	115,3	15	10	27	17	27	17
E393	95,7	15	10	27	17	27	17
E394	48,8	15	10	26	17	27	17
E395	4	15	10	26	17	27	17
E396	4,3	15	10	26	17	27	17
E397	4,2	15	10	26	17	27	17
E398	3,9	15	10	26	17	27	17
E399	12,3	15	10	26	17	27	17
E400	28,3	15	10	26	17	27	17

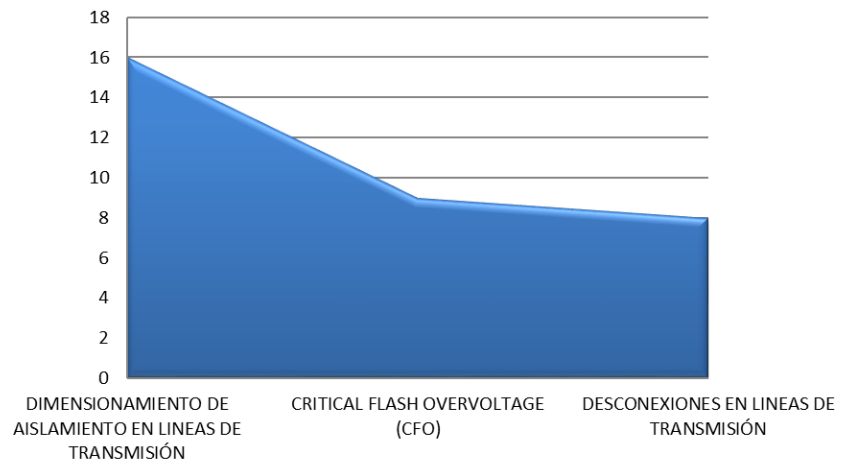
Estado del Arte

COORDINACIÓN ÓPTIMA DE AISLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE CONSIDERANDO RESTRICCIONES DE CONTAMINACIÓN																		
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUES TAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA		SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	CONTAMINACIÓN EN LINEAS DE TRANSMISIÓN	SOBRE VOLTAJES TEMPORALES	COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO	DISEÑO DE LINEAS DE TRANSMISIÓN	DIMENSIONAMIENTO DE AISLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISIÓN	CRITICAL FLASH OVERVOLTAGE (CFO)	DESCONEXIONES EN LINEAS DE TRANSMISIÓN	UBICACIÓN DE LINEAS DE TRANSMISIÓN	NIVEL DE CONTAMINACIÓN	NIVEL DE VOLTAJE	DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE	ALGORITMO GENÉRICO DE OPTIMIZACIÓN DE AISLAMIENTO	ALGORITMO MATEMÁTICO PARA CFO	CANTIDAD ÓPTIMA DE AISLADORES POR FASE	CÁLCULO DE CFO
1	2002	Vano , luz y flecha Apoyos para líneas aéreas	1				✓											
2	2009	Electrical Transmission Distribution Reference	417				✓											
3	2012	Subgerencia proyectos de expansión ayudas memoria proyectos ejecutados por la SPEX	10				✓				✓		✓					
4	2010	Capítulo III descripción del proyecto ´ línea de transmisión Chongón – Santa Elena a 230 kv	2				✓				✓		✓					
5	2013	Diseños definitivos, suministro y construcción de sistemas de transmisión extra alta tensión a 500 kv y obras asociadas a 230 kv; y servicios de operación y mantenimiento de líneas de transmisión a 500 kv. y	6				✓				✓		✓					

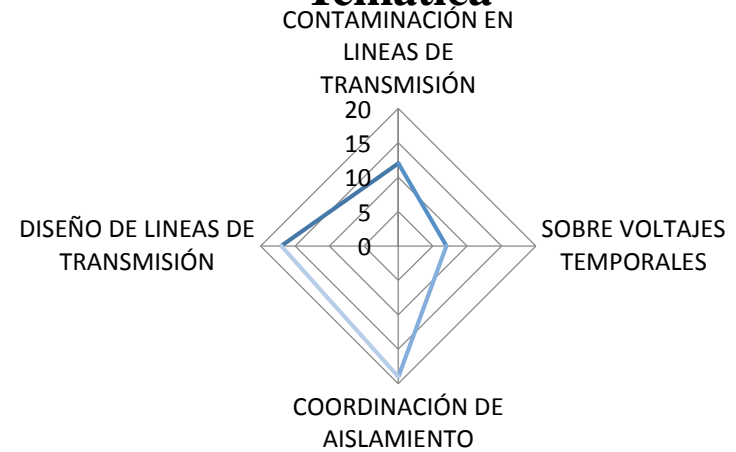
		subestaciones a 500/230 kV																	
6	2008	Coordinación de Aislamiento en redes electricas de alta tension - Martinez Velasco	129			X		X				X	X						
7	1996	Std 1313.1 - Standard for Insulation Coordination — Definitions , Principles , and Rules	112	X		X													
8	2005	AC Transmission Line Reference Book--200 kV and Above, Third Edition	100	X		X		X	X	X		X	X						
9	2005	Insulation coordination for power systems	587	X		X		X	X	X						X		X	
10	2000	Polluted insulators a review of current knowledge(CIGRE)	15	X		X		X		X									
11	2005	El proceso de contaminación del aislamiento Eléctrico externo.	118	X		X		X	X										
12	1999	IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination	3	X		X		X				X							
13	1996	Internationale International IEC	587	X		X		X				X							
14	1975	Normas de proyecto para líneas 138 kV	2	X		X		X			X	X	X	X	X			X	
15	1976	Normas de proyecto para líneas 230 kV	2	X		X		X			X	X	X	X	X			X	
16	2010	E.H.V. Transmission Line Reference Book	25	X		X		X			X	X	X	X				X	
17	1975	Estudio de coordinacion de aislamiento	1			X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
18	1996	IEEE std 1313.2 – Aisladores por cadena.	3			X		X				X	X					X	
19	2013	Design data – The Insulation coordination and Clearance to Structure 1 Input data	1			X		X		X		X	X		X			X	
20	2013	Design data – The Insulation Coordination and Clearance to Structure Data design-The Insulation Coordination and Clearance to Structures 1. 1 Safety air distances for industrial frequency over voltages	1			X		X		X		X	X		X			X	
21	2013	Determinación del largo de una cadena de aisladores	10			X		X				X	X	X	X	X		X	
22	1974	Determinación de Aislamiento en Lineas de Transmisión	2	X		X		X	X			X	X	X	X	X		X	

2	3	2002	Contaminación por Salinidad en Lineas de Transmision cercanas a la costa	3658	X		X	X					X		X		
2	4	2011	Análisis técnico economico de la futura linea de transmision coca codo sinclair – pifo a 500 kV.	1			X						X		X		
2	5	2016	Estudio de Aislamiento	1			X	X					X		X		
				CANTID	1		1	1			1	1	1				
				AD:	2	7	9	7	16	9	8	2	6	7	7	8	2
															12	2	

Formulación del problema



Temática



Solución propuesta

